This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.

COMMISSION DES MÉTHODES D'ESSAI

DES

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS

COMMISSION DES MÉTHODES D'ESSAI

DES

MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

PREMIÈRE SESSION

TOME IV

SECTION B

(MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AUTRES QUE LES MÉTAUX)

RAPPORTS PARTICULIERS

PARIS

IMPRIMERIE NATIONALE

J. ROTHSCHILD, ÉDITEUR, RUE DES SAINTS-PÈRES, 13

1895

365

Eng 7/4

Eng 318.94F

~~430.32~~
3
IV

France - Commission des méthodes d'essai des matériaux de construction.

SUR

LES ESSAIS DE TAMISAGE.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. DURAND-CLAYE.

Exposé. — Parmi les caractères qui influent sur la qualité des ciments, la finesse de mouture joue un rôle considérable. Nous n'avons pas ici à discuter ce rôle. Il suffit de rappeler que l'attention des ingénieurs et des fabricants s'est portée depuis longtemps sur cette question, et que des considérations diverses les ont conduits à adopter des règles plus ou moins précises à ce égard. Autrefois, on se contentait d'une mouture grossière, et l'on mesurait les résidus laissés sur un tamis de 18 mailles par centimètre de longueur. Dans ces dernières années, la mouture a été poussée beaucoup plus loin, et les fabricants n'ont pas hésité à faire de grands frais pour atteindre ce résultat.

La finesse de mouture se détermine ordinairement par la proportion de résidu laissé par le ciment sur des tamis en toile métallique de différentes grosseurs, par lesquels on fait passer successivement un poids donné de l'échantillon.

D'autres procédés peuvent être employés, par exemple la lévigation dans l'eau ou dans l'essence. Mais ces procédés, bien plus difficiles à définir que le tamisage, ne sont pas entrés dans la pratique, et nous n'avons pas cru devoir nous en occuper. La mission que le Sous-Comité [1] a reçue du Comité d'études se borne à l'examen des procédés de tamisage; on va voir qu'elle est déjà assez étendue et assez délicate.

Prélèvement des échantillons. — Une question préjudicielle a été soulevée dans le sein du Sous-Comité. C'est celle de savoir à quel moment et dans quel état il convient de choisir l'échantillon destiné à faire connaître par le tamisage le degré de finesse de mouture d'un ciment.

On a fait remarquer que le même ciment peut donner des résultats différents s'il est jeté sur le tamis au sortir des bluteries, ou s'il n'est essayé que postérieurement, lorsqu'il a emprunté de l'eau à l'atmosphère, et que les grains ont pu changer de volume ou s'agglutiner. Nous n'avons pas pensé avoir à résoudre cette question : il ne s'agit pas encore de savoir ce qu'il convient de faire pour apprécier la valeur d'un ciment, mais seulement quelle marche on doit suivre pour apprécier tel ou tel caractère sur un produit proposé, en l'état où il se trouve au moment de l'expérience.

Néanmoins, il a paru intéressant de se rendre compte sommairement de l'influence que peut avoir sur le tamisage le degré d'hydratation de la matière. A cet effet, on a opéré successivement et dans des conditions identiques, en répétant l'expérience sur cinq prises d'échantillon, avec du ciment de Boulogne puisé dans un sac de commerce et conservé depuis plusieurs se-

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

maines au laboratoire, et avec le même ciment calciné au moufle et conservé pendant un jour seulement dans un flacon bouché. Les résultats trouvés ont été les suivants, en moyenne :

	CIMENT DU COMMERCE. — p. 100.	CIMENT CALCINÉ. — p. 100.
Résidu sur le tamis de 900 mailles	9,24	10,37
Résidu sur le tamis de 5.000 mailles	37,66	42,04
Fine poussière	62,34	58,96

Le tamisage était complet pour le ciment du commerce, qui ne laissait plus passer qu'une quantité insignifiante de grains; pour le ciment calciné, il en passait encore trois fois plus, c'est-à-dire assez pour qu'on ne pût considérer l'expérience comme absolument terminée. Il a paru inutile de poursuivre davantage ces essais comparatifs. La seule conclusion que nous avons à en tirer actuellement, c'est que l'état du ciment et son âge ont une certaine influence sur les résultats du tamisage.

Nombre de lots. — Pour avoir une idée précise de la composition d'un ciment au point de vue de la grosseur des grains qui le composent, il faudrait le faire passer successivement sur un grand nombre de tamis et dresser une courbe des quantités de résidus correspondant à chacun d'eux. Mais une telle opération demanderait un temps considérable et revêtirait un caractère scientifique éloigné du but pratique que l'on doit poursuivre dans les essais de ce genre. On se contente de partager l'échantillon en un petit nombre de lots. En Suisse, on a recours à un seul tamisage sur une toile de 900 mailles au centimètre carré. Les règles allemandes en prescrivent deux, sur des toiles de 900 et de 4.900 mailles. En France, il est d'usage d'exécuter un troisième tamisage sur une toile dite de 324 mailles; c'est, comme il a été dit plus haut, le seul type employé autrefois. S'il a été abandonné à l'étranger, c'est que le résidu laissé sur ce tamis est presque toujours nul ou insignifiant dans les portlands fabriqués aujourd'hui.

Le Sous-Comité a pensé qu'il était utile de conserver le tamisage sur la toile dite de 324 mailles; il peut faire reconnaître des défectuosités de blutage que des fabricants négligents n'auraient plus intérêt à éviter.

Le ciment se trouve ainsi partagé en quatre lots assez bien définis : les grains grossiers, les grains moyens, les grains fins, enfin la fine poussière qui a traversé le tamis le plus serré.

Définition des tamis. — Il reste à définir maintenant chacun des tamis que l'on adoptera pour opérer la séparation des divers lots.

On est d'accord pour employer les toiles qui sont désignées dans le commerce sous les n°s 50, 80 et 200. Nous ajouterons tout de suite, bien que les essais sur les chaux ne soient pas encore en discussion, que la toile n° 135 est souvent adoptée pour leur étude. Il n'y a aucune raison pour s'écarter de ces types, actuellement consacrés par un usage universel.

Cette désignation un peu vague serait suffisante si tous les tamis portant le même numéro étaient exécutés identiquement de la même manière et par le même fabricant. Malheureusement, il n'en est pas ainsi, et nous avons dû d'abord nous enquérir des règles qui président à cette fabrication, en ce qui concerne l'espacement des fils et leur grosseur.

Sur le premier point, il n'y a aucun doute. Le numéro du tamis indique toujours le nombre de fils compris dans un pouce français, ou plus exactement dans une longueur de 0 m. 027 de la chaîne de la toile. La trame doit être conduite de façon à donner des mailles carrées. Ainsi la toile n° 100 aurait 100 fils dans les deux sens pour une longueur de 0 m. 027 et 10.000 mailles par pouce carré. Si l'on ramène les nombres ainsi définis au centimètre carré, on trouve que les quatre types en usage doivent avoir :

	NOMBRE DE FILS par centimètre linéaire. —	NOMBRE DE MAILLES par centimètre carré. —
Toile n° 50	18,52	343
Toile n° 80	29,53	878
Toile n° 135	50,00	2.500
Toile n° 200	74,07	5.487

On voit immédiatement par ce tableau que les expressions par lesquelles on désigne le plus souvent les tamis sont vicieuses, sauf pour le n° 135, puisqu'on a 343 mailles au lieu de 324, 878 au lieu de 900, 5.487 au lieu de 5.000.

Quant au second point, la grosseur des fils, il y a plus d'incertitude. Les fils sont classés, d'après leur calibre, sous des numéros correspondant à ceux de la filière à laquelle ils ont été étirés. Par exemple, le tamis n° 50 est fait avec des fils du n° 28 et le tamis n° 200 avec des fils du n° 48 de la filière carcasse, habituellement adoptée en France.

Mais on ignore le diamètre exact qui correspond à ces numéros. Si l'on demande ce diamètre aux fabricants, ils ne sont pas toujours d'accord. Le diamètre de 0 mm. 20 paraît généralement admis pour le tamis n° 50, mais on nous a indiqué 0 mm. 14 et 0 mm. 16 pour la grosseur normale des fils de tamis n° 80, 0 mm. 05 et 0 mm. 06 pour le n° 200.

On peut donc dire que les tamis, bien définis quant au nombre des mailles, ne le sont qu'imparfaitement quant à la grosseur des fils.

Si l'on examine maintenant les tamis livrés par le commerce, on trouve que la plupart s'éloignent plus ou moins des définitions indiquées. Les fils de trame n'ayant pas toujours le même écartement que les fils de chaîne, le nombre de fils par unité de longueur n'est pas le même dans les deux sens, en sorte que les mailles ne sont pas rigoureusement carrées; le nombre des fils est rarement celui qui correspond au numéro de la toile.

Nous avons réuni un certain nombre d'échantillons de toiles métalliques, que nous avons soumis à une vérification minutieuse; cette vérification est assez facile pour le nombre des fils, que l'on arrive à compter sous le microscope ou même sous la loupe.

La mesure du diamètre est plus délicate. On peut se servir du palmer; cet instrument est assez perfectionné aujourd'hui pour donner les diamètres les plus fins à moins d'un centième de millimètre près. Seulement, les fils ayant été gondolés par le tissage, il faut en effiloquer quelques-uns, puis les redresser par une compression entre les ongles. Il est à craindre que le redressement par l'ongle n'en altère quelque peu le diamètre, et l'expérience nous a prouvé qu'il en était ainsi. Nous avons cherché un procédé qui permît de constater le diamètre des fils sans défaire la toile et même au besoin sur des tamis montés, et neus y sommes parvenu grâce au concours de M. Klein. On se sert d'un microscope qui porte à son foyer un réticule divisé en fines parties, par exemple en dixièmes de millimètre, et l'on approche l'objectif de la toile jusqu'à ce que l'image grossie se forme précisément sur ce réticule, dont un certain nombre de divisions sont couvertes par chacun des fils. On n'a qu'à diviser la longueur correspondant à ce nombre par le grossissement pour connaître le diamètre du fil. Si l'on se sert du grossissement de 10 à 1 avec un réticule dont les divisions ont 0 mm. 10, il suffit de compter les divisions couvertes par le fil pour connaître le diamètre en centièmes de millimètre.

Les vérifications faites par ce procédé ont donné les résultats du tableau ci-après :

NUMÉRO COMMERCIAL DES TAMIS.	DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS.	NOMBRE DE FILS PAR CENTIMÈTRE LINÉAIRE			NOMBRE DE MAILLES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ		GROSSEUR DES FILS		LARGEUR DES JOURS	
		par définition.	compté dans un sens.	compté dans l'autre.	par définition.	trouvé.	dans un sens.	dans l'autre.	dans un sens.	dans l'autre.
							mm.	mm.	mm.	mm.
50	A	18,52	18,60	18,40	343	342	0,23	0,20	0,308	0,343
	B		18,00	17,50		315	0,20	0,207	0,356	0,364
	C		17,90	16,20		272	0,205	0,205	0,355	0,412
	D		19,00	17,80		338	0,20	0,17	0,326	0,392
	L		18,40	16,30		300	"	"	"	"
80	A	29,53	28,75	26,00	878	748	0,15	0,135	0,198	0,250
	B		29,90	26,75		800	0,145	0,15	0,183	0,224
	C		28,50	26,50		755	0,15	0,135	0,209	0,242
	D		28,30	25,00		708	0,15	0,14	0,203	0,260
	L		30,00	30,00		900	"	"	"	"
	S		29,50	28,00		826	"	"	"	"
130	X	48,15	47,50	43,30	2.318	2.057	0,10	0,11	0,111	0,121
	X		44,40	42,70		1.896	0,10	0,11	0,125	0,124
135	B	50,00	51,70	50,00	2.500	2.585	0,11	0,10	0,083	0,100
140	X	51,85	55,00	51,30	2.688	2.822	0,10	0,09	0,082	0,105
150	A	55,56	55,00	53,50	3.086	2.943	0,07	0,07	0,112	0,120
	D		55,30	50,00		2.765	0,09	0,08	0,091	0,120
200	A	74,07	76,80	76,00	5.487	5.837	0,06	0,06	0,071	0,072
	B		73,00	68,00		4.964	0,08	0,06	0,057	0,087
	B		71,60	61,10		4.375	0,08	0,055	0,060	0,109
	D		70,00	61,30		4.291	0,07	0,05	0,073	0,113
	D		75,00	63,00		4.725	0,07	0,05	0,063	0,110
	L		68,00	66,50		4.500	"	"	"	"
	S		72,00	70,00		5.040	"	"	"	"

On voit, par ces quelques exemples, combien les tamis fournis sous le même numéro sont dissemblables et quelles différences on peut obtenir dans les résultats, suivant que l'on tombe sur une toile ou sur une autre. La largeur des jours, dans les n°s 200, se trouve parfois plus grande que dans les n°s 135 et 140, et elle varie de 0 mm. 057 à 0 mm. 113, c'est-à-dire du simple au double.

Il faut ajouter à cela que le tissage est loin d'être parfaitement régulier, comme on peut s'en assurer en regardant les toiles au microscope, et que la grosseur des fils n'est pas uniforme. M. Role, fabricant d'instruments de physique, qui a bien voulu nous prêter son concours dans nos études relatives aux tamis, a observé des différences de 0 mm. 03 sur la grosseur d'un fil de 0 mm. 12, et il est convaincu de l'impossibilité de trouver dans le commerce des fils fins dont le diamètre ne varie pas de 0 mm. 01 et même de 0 mm. 015 sur une longueur de 1 à 2 mètres seulement.

Il ne paraît guère possible d'obtenir des fabricants des toiles exemptes de tout défaut. Il se trouve toutefois des usines où la fabrication est plus soignée que dans les autres. On devra s'adresser à elles de préférence, et n'employer aucune toile avant de l'avoir vérifiée et de s'être assuré qu'elle est suffisamment régulière, et qu'elle ne s'écarte pas trop des dispositions que l'on aura adoptées comme normales.

Tout ce que le Comité peut faire pour le moment, c'est de fixer ces règles normales. Il convient d'ailleurs de les fixer en s'écartant le moins possible des usages et en les ramenant à des nombres ronds.

Les types à employer pourraient être définis comme il suit :

	NOMBRE DE FILS au centimètre linéaire.	NOMBRE DE MAILLES au centimètre carré.	GROSSEUR DES FILS.	LARGEUR DES CÔTÉS des jours.
	—	—	—	—
			mm.	mm.
a. Tamis le plus gros	18	324	0,20	0,36
b. Tamis moyen	30	900	0,15	0,18
c. Tamis le plus fin	70	4.900	0,05	0,09

On peut remarquer que le dernier tamis, n'ayant que 70 mailles, correspond par définition au n° 190 et non au n° 200.

On voit que les largeurs de jours, avec les dispositions proposées, décroissent en progression géométrique, chacune d'elles étant la moitié de la précédente. C'est une raison, en dehors du désir de s'écarter le moins possible des règles de l'industrie, pour affecter au tamis de 900 mailles des fils de 0 mm. 15 au lieu du calibre de 0 mm. 10 indiqué par les conférences allemandes et par M. Tetmajer.

Nous avons rappelé plus haut qu'on emploie pour l'étude des chaux un tamis n° 135 de 2.500 mailles au centimètre carré, et de 50 fils au centimètre linéaire. Bien que nous n'ayons pas à nous occuper des chaux actuellement, on peut observer que ce tamis se classe entre ceux qui sont marqués *b* et *c* dans le tableau ci-dessus, et qu'il serait naturel de lui affecter des fils de 0 mm. 10, qui paraissent d'ailleurs être en usage pour sa fabrication. Mais alors le côté de ses jours ne serait que de 0 mm. 10 et différerait peu de celui des jours du tamis *c*. On aura donc à se demander s'il y a quelque utilité à adopter ce type spécial pour les chaux. Cette question n'est pas à résoudre en ce moment, mais nous avons cru devoir la poser incidemment.

Diamètre des tamis. — On s'est demandé s'il était nécessaire de fixer la dimension des boîtes des tamis à employer. Pour le tamisage à la main, on emploie habituellement de larges tamis de 0 m. 30 à 0 m. 40 de diamètre. Quand on se sert de machines, ils n'ont que de 0 m. 10 à 0 m. 12. Il ne semble pas y avoir de motif pour changer ces habitudes, ni pour arrêter des prescriptions spéciales à cet égard.

Les tamis pour machines sont plus petits parce qu'on les conjugue. Ils sont ajustés les uns au-dessus des autres, et forment alors une boîte fermée avec deux ou trois cloisons en toile métallique, en sorte que le tamisage se fait à la fois pour tous les lots. Cette disposition est inadmissible pour le tamisage à la main.

Ordre du tamisage. — Le tamisage peut se faire de deux manières. On peut commencer par séparer les grains les plus gros sur le tamis de 324 mailles, reprendre ce qui a passé pour le soumettre au tamis de 900 mailles et terminer par le tamis de 4.900 mailles. C'est ainsi que l'on procède au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées. L'ordre inverse peut être suivi. Il est recommandé notamment par M. Candlot dans son traité des ciments, comme étant plus

rapide. En effet, dans ce dernier système, la fine poussière qui forme environ les deux tiers de la masse est éliminée par le premier tamisage, et les deux autres se font en moins de temps. Dans la première méthode, elle doit passer sur les trois tamis.

Nous avons cherché à comparer les deux manières d'opérer, tant au point de vue des résultats obtenus qu'à celui du temps employé.

On a fait sur un même ciment cinq essais de tamisage successivement dans les deux ordres, et les résultats obtenus ont été pour ainsi dire rigoureusement les mêmes. En commençant par le tamis le plus gros, on a trouvé des résidus dont la moyenne a été de 8,69 p. 100 sur le tamis de 900 mailles, et de 32,68 p. 100 sur le tamis de 5.000 mailles. En commençant par le tamis le plus fin, les proportions respectives ont été 8,68 et 32,76.

Quant à la durée du tamisage, elle a été un peu moindre par la seconde méthode que par la première, mais la différence n'a pas une grande importance, le passage de la fine poussière se faisant en quelques instants à travers le tamis de 324 mailles et demandant fort peu de temps sur le tamis de 900 mailles. Dans les essais comparatifs que nous avons exécutés, la différence de temps a été en moyenne d'une minute environ. L'avantage signalé par M. Candlot n'a donc qu'une très minime importance.

En somme, il ne semble pas qu'il y ait lieu de fixer aucune prescription quant à l'ordre des tamis employés successivement dans une même opération.

Emploi des machines. — Le tamisage est une opération longue et minutieuse, et la séparation en divers lots est toujours un peu arbitraire. A un opérateur exercé, il faut au moins une demi-heure pour exécuter un tamisage entièrement à la main. Si l'on en fait plusieurs dans une même journée, il est à craindre que l'opérateur fatigué ne s'arrête trop tôt dans les dernières opérations d'une série fastidieuse, et que la matière ne soit pas bien passée. Cette crainte est d'autant plus fondée que, comme chacun le sait, le moment où un tamisage est terminé n'est pas précis, et que si l'on continue à remuer indéfiniment, il passe indéfiniment de la poudre. Le moment où il faut s'arrêter est donc un peu arbitraire; ordinairement on cesse d'agiter lorsqu'il ne passe plus qu'une quantité de grains dont le poids soit négligeable. Au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, on admet que ce résultat est obtenu lorsque 25 nouveaux tours de bras ne fournissent plus un décigramme de poudre; mais on ne fait pas cette vérification à chaque opération, la pratique permettant à l'œil d'estimer le moment où cette limite est atteinte.

On a essayé de se mettre à l'abri de ces inconvénients en se servant de machines à secousses.

Dans divers laboratoires, notamment dans celui de l'École des Ponts et Chaussées, on emploie un appareil, décrit dans la notice de M. Debray, qui sert seulement à éliminer la plus grande masse de la fine poussière. Cela permet d'abréger beaucoup l'ensemble du tamisage, les opérations à la main ne portant que sur une faible partie de la fine poussière et sur les grains moyens et gros. Il n'y a aucune observation à présenter sur l'emploi de cette machine, dont on ne peut que recommander la généralisation.

Mais on a cherché aussi à disposer des appareils mécaniques ayant pour but, non pas tant d'abréger le travail que de le régulariser et d'en préciser les conditions, en ne laissant plus aucune place à l'arbitraire et au degré d'habileté de l'opérateur.

Notre collègue, M. Feret, a fait construire et a expérimenté une machine de ce genre, décrite dans le mémoire qu'il a publié dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (1890, 1er semestre, page 348). Il a cherché surtout à en déduire les lois qui président au passage des grains dans les jours des tamis. Nous ne pouvons que renvoyer à ses intéressantes observations, dont un utile parti sera certainement tiré dans les études que le Sous-Comité se propose de continuer à ce sujet.

M. Tetmajer a combiné un appareil analogue, mais de plus petite dimension, dont un exemplaire se trouve au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées; des tamis conjugués, fermés par un couvercle, sont posés sur un cadre animé d'un rapide mouvement de va-et-vient, sur lequel des tiges à ressorts portent de petits coups. Un compteur de tours permet de savoir à tout moment quel nombre de secousses on imprime à la boîte ou, pour mieux dire, combien de va-et-vient elle a exécutés. Le nombre de va-et-vient est de 2 1/2 pour un tour de la manivelle motrice. Nous avons opéré un certain nombre de tamisages avec cet appareil, en fixant dans tous les cas la vitesse à 200 tours par minute. Le nombre des tours a été de 2.500; à partir de là, pour un échantillon de 100 grammes, le poids des grains qui passent encore par 100 tours sur le dernier tamis n'atteint jamais 1 décigramme, c'est-à-dire 1 p. 1.000. La quantité de poudre essayée a varié de 100 grammes à 50 grammes et à 25 grammes.

Les résultats de ces essais sont consignés au tableau ci-après, sur lequel on a reporté également les résultats de tamisages à la main faits sur les mêmes échantillons, quoiqu'ils ne soient pas comparables, le nombre des mailles n'étant pas le même dans les tamis de l'École que dans les tamis suisses, surtout pour le plus fin, et la grosseur des fils étant indéterminée. Le tamis conjugué de la machine Tetmajer ne comportant pas de toile de 324 mailles, les gros grains ont été dans tous les cas séparés au tamis à la main.

ESSAIS À LA MACHINE.							ESSAIS À LA MAIN.						
DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS.	POIDS DE L'ÉCHANTILLON.	NUMÉROS D'ORDRE DES ESSAIS.	PROPORTION P. 100 de résidu sur le tamis de : 324 m.	900 m.	5.000 m.	de fine poussière.	DÉSIGNATION DES ÉCHANTILLONS.	POIDS DE L'ÉCHANTILLON.	NUMÉROS D'ORDRE DES ESSAIS.	PROPORTION P. 100 de résidu sur le tamis de : 324 m.	900 m.	5.000 m.	de fine poussière.
	g.							g.					
A	100	1	0,07	9,45	37,85	62,15	A	100	1	0,08	8,80	32,80	67,20
		2	0,07	8,92	37,80	62,20			2	0,08	8,57	32,20	67,80
		3	0,07	9,23	37,30	62,70			3	0,03	8,35	32,40	67,60
		4	0,07	9,25	37,50	62,50			4	0,08	9,15	33,35	66,65
		5	0,05	9,45	37,85	62,15			5	0,06	8,51	33,05	66,95
		Moy.	0,066	9,240	37,660	62,340			Moy.	0,066	8,676	32,760	67,240
A	50	1	0,08	9,60	38,40	61,60							
		2	0,08	9,86	38,60	61,40							
		3	0,08	9,18	37,24	62,76							
		4	0,04	10,00	37,90	62,10							
		5	0,04	10,00	38,12	61,88							
		Moy.	0,064	9,728	38,052	61,948							
A	25	1	0,10	9,00	37,20	62,80							
		2	0,08	9,00	37,80	62,20							
		3	0,04	9,32	38,00	62,00							
		4	0,04	9,40	38,28	61,72							
		5	0,04	10,08	38,96	61,04							
		Moy.	0,060	9,360	38,058	61,942							
1.094	100	1	0,00	0,37	18,95	81,05	1.094	100	1	0,00	0,30	12,03	87,97
		2	0,00	0,35	17,55	82,45			2	0,00	0,30	12,10	87,90
		3	0,00	0,35	18,20	81,80			3	0,00	0,42	12,35	87,65
		Moy.	0,00	0,36	18,23	81,77			Moy.	0,00	0,34	12,16	87,84
1.094	50	1	0,00	0,32	2,052	79,48							
		2	0,00	0,34	1,876	81,24							
		3	0,00	0,38	1,924	80,76							
		Moy.	0,00	0,35	1,950	80,50							
1.094	25	1	0,00	0,24	21,44	78,56							
		2	0,00	0,28	19,16	80,84							
		3	0,00	0,36	21,08	78,92							
		Moy.	0,00	0,29	20,56	79,44							
1.098	100	1	0,00	2,05	24,47	75,53	1.098	100	1	0,00	1,50	19,15	80,85
		2	0,00	2,22	25,18	74,82			2	0,00	2,04	18,61	81,39
		Moy.	0,00	2,13	24,83	75,17			Moy.	0,00	1,77	18,88	81,12
1.098	50	1	0,00	1,84	24,64	75,36							
1.098	25	1	0,00	1,80	25,00	75,00							

On voit, par ce tableau, que le tamisage à la machine donne des résultats aussi concordants que le tamisage à la main, sans qu'il soit nécessaire de recourir à un opérateur exercé et toujours le même.

La durée de l'opération est sensiblement la même que lorsqu'on tamise à la main en éliminant la fine poussière par l'autre machine dont il a été parlé plus haut. Cette durée est d'environ un quart d'heure par échantillon de 100 grammes.

Le moment où il convient d'arrêter le mouvement des tamis peut se déterminer exactement, si l'on fait une convention pour fixer ce moment; par exemple, si l'on prend celui à partir duquel 100 nouveaux tours ne laissent plus passer que 1 p. 1.000 au plus de matière.

A cet effet, on pèse les résidus restés sur les tamis, après 500 tours d'abord, puis après 1.000 tours, après 1.500, etc., et l'on s'arrête lorsque la différence entre deux pesées successives n'atteint pas 5 p. 1.000 ou 0 g. 5 pour 100 grammes. Pour toute une série de ciments de même espèce, une première expérience suffit pour donner la règle à suivre dans toutes les suivantes.

Le tableau ci-dessous donne les résultats obtenus sur cinq échantillons prélevés dans un même sac de ciment, dont le tamisage a été fractionné par 500 tours. On a opéré comme d'habitude sur 100 grammes.

NUMÉROS D'ORDRE des essais.	RÉSIDU P. 100 REFUSÉ PAR LE TAMIS									
	DE 900 MAILLES, après :					DE 5.000 MAILLES, après :				
	500 tours.	1.000 tours.	1.500 tours.	2.000 tours.	2.500 tours.	500 tours.	1.000 tours.	1.500 tours.	2.000 tours.	2.500 tours.
1.....	"	10,25	9,69	9,23	8,77	"	39,57	38,58	37,93	37,47
2.....	10,80	9,72	9,34	8,99	8,85	41,06	39,22	38,38	37,83	37,45
3.....	11,03	10,06	9,52	9,22	8,95	41,33	39,53	38,64	38,09	37,65
4.....	10,79	9,81	9,42	9,11	8,82	41,13	39,36	38,59	38,06	37,70
5.....	10,70	9,65	9,33	9,10	8,85	41,33	39,45	38,66	38,10	37,74
MOYENNES...	10,830	9,896	9,46	9,130	8,860	41,212	39,426	38,570	38,002	37,602
DIFFÉRENCES..	0,934	0,436	0,330	0,270		1,786	0,856	0,568	0,400	

On voit qu'avec cette nature de ciment, 2.500 tours sont nécessaires et suffisants.

L'emploi d'une machine à secousses pour faire le tamisage paraît donc présenter des avantages sérieux. L'opération, moins fastidieuse et moins délicate, s'exécute toujours dans les mêmes conditions. Elle peut être renouvelée sans fatigue et sans crainte d'erreur un grand nombre de fois dans une même journée. Elle peut être faite par un ouvrier quelconque, qui n'a qu'à se préoccuper de tourner avec une vitesse uniforme, ou, mieux encore, par un moteur à gaz ou à vapeur. On peut fixer des règles précises qui mettent toutes les expériences dans les mêmes conditions, non seulement dans un même laboratoire, mais partout, pourvu que l'on définisse bien les principes auxquels doit être soumise la machine.

Nous estimons donc qu'il y a lieu d'en recommander l'usage. Mais il reste à définir les conditions de son établissement et de son emploi, et nous n'avons pas eu le temps de les déterminer. C'est une question qui doit être réservée.

L'appareil de M. Tetmajer laisse à désirer sous ce rapport, ainsi que pour certains détails de construction, et il y aurait lieu de le perfectionner.

Il laisse voltiger la fine poussière qui salit toutes ses parties et la table sur laquelle il repose, et qui encrasse tous ses organes et les doit mettre promptement hors d'usage. Il serait nécessaire de recueillir la fine poussière dans une boîte fermée.

Les divers tamis s'emboîtent les uns dans les autres, et sont retenus au moyen de douilles à baïonnettes. La poudre qui se loge dans les emboîtements les rend très difficiles à séparer.

En dehors du va-et-vient, les boîtes reçoivent de petites secousses vers la fin de leur course en venant frapper contre des taquets munis de ressorts à boudin, dont la force n'est pas définie et doit varier avec le temps et avec l'état de propreté. Ces taquets, au nombre de deux, ne sont pas égaux ni symétriquement placés dans la machine que nous possédons.

Dans la pensée qu'il serait toujours difficile de préciser la force et la disposition de semblables organes, nous nous sommes demandé s'ils ne pourraient pas être supprimés, et nous avons

fait un certain nombre d'essais comparatifs, les uns avec taquets à ressorts, les autres après les avoir enlevés. Ces essais nous ont démontré leur complète inutilité, comme il résulte du tableau suivant :

		ESSAIS FAITS AVEC LA MACHINE DÉPOURVUE DE SES TAQUETS À RESSORT.						MOYENNES DE 10 ESSAIS faits avec la machine pourvue de ses taquets à ressort.
		1er essai.	2e essai.	3e essai.	4e essai.	5e essai.	Moyenne.	
Résidu p. 100 refusé par le tamis de..	900 mailles.....	8,80	9,03	9,02	8,85	8,77	8,894	9,050
	5.000 mailles.....	37,51	37,51	37,56	37,59	37,59	37,580	37,631
Fine poussière.....		62,49	62,35	62,44	62,41	62,41	62,420	62,360

Les résultats sont presque exactement les mêmes dans les deux cas, et ils paraissent même être plus réguliers sans les taquets.

Si le Comité partage notre avis, il émettrait le vœu que le tamisage soit fait à la machine, et il autoriserait le Sous-Comité à étudier un appareil échappant aux défauts signalés, et dont les principes pourraient être définis d'une façon simple et précise.

Quantité de produit à employer. — Il est d'usage de faire le tamisage sur 100 grammes de l'échantillon. Il n'y a pas de motif pour déroger à cette règle. Chaque gramme de résidu trouvé correspond à 1 p. 100 de la matière proposée, et l'on évite tout calcul de réduction et toute confusion dans l'expression des résultats.

Si l'on réduisait la prise d'échantillon à un poids moindre, on trouverait sans doute les mêmes résultats après un nombre de tours moindre. On a vu sur un précédent tableau que la proportion de résidu augmentait un peu lorsqu'on tamisait 50 ou 25 grammes au lieu de 100 en faisant faire le même nombre de tours à la machine. Ainsi les échantillons A, 1.094, 1.098 ont donné comme résidu, sur le tamis de 5.000 mailles :

	RÉSIDU P. 100 SUR UN ÉCHANTILLON		
	de 100 grammes.	de 50 grammes.	de 25 grammes.
Sur A.....	37,66	38,05	38,06
Sur 1.094.....	18,23	19,50	20,56
Sur 1.098.....	24,83	24,64	25,00

Un résultat analogue a été obtenu dans une série d'essais spéciaux faits surtout en vue de reconnaître l'avantage qu'il peut y avoir à diminuer le poids de l'échantillon. En opérant sur 50 grammes et fractionnant l'essai par série de 500 tours, on a trouvé les résultats suivants :

NUMÉROS D'ORDRE des essais.	RÉSIDU P. 100 REFUSÉ SUR UN ÉCHANTILLON DE 50 GRAMMES PAR LE TAMIS							
	de 5.000 mailles :				de 900 mailles :			
	après 500 tours.	après 1.000 tours.	après 1.500 tours.	après 2.000 tours.	après 500 tours.	après 1.000 tours.	après 1.500 tours.	après 2.000 tours.
1.....	11,04	10,24	9,52	9,32	41,14	39,88	38,70	38,28
2.....	11,60	10,30	10,00	9,72	41,38	39,74	38,90	38,44
3.....	10,84	10,18	9,70	9,50	40,84	39,32	38,52	38,14
4.....	"	"	9,82	9,46	"	"	38,62	38,62
MOYENNES.....	11,160	10,240	9,760	9,500	41,120	39,647	38,685	38,260
DIFFÉRENCES.....	0,920	0,480	0,260		1,473	0,962	0,425	
	Avec le poids de 100 grammes les moyennes et les différences ont été :							
MOYENNES.....	10,830	9,896	9,460	9,130	41,212	39,426	38,570	38,002
DIFFÉRENCES.....	0,934	0,436	0,330		1,786	0,856	0,568	

Les résultats sont sensiblement les mêmes; mais néanmoins l'échantillon de 50 grammes donne proportionnellement un peu plus de résidu que celui de 100 grammes.

Le tableau fait voir, en outre, qu'il faut pousser le tamisage presque au même point. Si l'on s'en tient à la règle que le tamisage est terminé lorsqu'il ne passe plus que 1 pour 1.000 de la matière pour 100 tours de la machine, on pourrait toutefois s'arrêter à 2.000 tours pour l'échantillon de 50 grammes, tandis que pour celui de 100 grammes il faudrait aller un peu plus loin.

Cet avantage, à peine marqué, ne semble pas suffisant pour modifier des usages qui se justifient par d'autres motifs.

Manière d'exprimer les résultats. — Le tamisage fractionne l'échantillon en quatre lots: 1° ce qui reste sur le tamis de 324 mailles; 2° ce qui a passé sur ce tamis et est refusé par le tamis de 900 mailles; 3° ce qui, ayant traversé le tamis de 900 mailles, reste sur le tamis de 5.000 mailles; 4° la fine poussière.

Il y a deux manières d'exprimer les résultats. Dans la première, on indique séparément la valeur de chacun des trois premiers lots, et on calcule la fine poussière par différence. Il est nécessaire alors d'indiquer pour chaque lot, lorsqu'on énonce le résultat, entre quelles limites il a été pris.

Dans la seconde manière, on cumule, pour chaque tamis, l'ensemble de ce qu'il peut refuser. Le résidu sur un tamis est la somme des résidus recueillis sur les tamis de plus faible numéro, quels qu'en soient le nombre et le type. La fine poussière se calcule également par différence.

Il importe d'adopter une règle uniforme pour éviter des confusions qui se produisent assez souvent.

Le second système paraît le plus rationnel. Quand on cherche le résidu refusé par un tamis, peu importe comment ce résidu peut lui-même se fractionner. Il peut se présenter d'ailleurs des cas où l'on n'ait intérêt à connaître que le résultat donné par un seul tamis, et où le nombre de lots ne soit plus que de deux. Dans la première méthode, il faudrait recourir à des explications spéciales, qui deviennent inutiles avec la seconde.

Nous proposons, en conséquence, de décider que lorsqu'on parlera du résidu sur le tamis, on devra entendre la totalité de ce qui n'y pourrait passer.

C'est dans ce système qu'ont été calculés les divers tableaux qui figurent dans le présent rapport.

CONCLUSIONS.

Comme conclusion des explications qui précèdent, nous proposons au Comité d'adopter les décisions suivantes, en ce qui concerne le tamisage des ciments :

1° L'échantillon sera fractionné en quatre lots à l'aide des tamis définis ci-après.

2° On emploiera trois tamis à mailles carrées présentant les dispositions suivantes :

a. 18 mailles par centimètre linéaire et fils de 0 mm. 20 de diamètre.

b. 30 mailles par centimètre linéaire et fils de 0 mm. 15 de diamètre.

c. 70 mailles par centimètre linéaire et fils de 0 mm. 05 de diamètre.

3° Les essais auront lieu sur un échantillon de 100 grammes.

4° Le tamisage sera considéré comme terminé lorsqu'il passera moins de 0 g. 1 de matière sous l'action de 25 tours de bras.

5° L'emploi d'une machine à secousses est recommandé pour éliminer rapidement la plus grande partie de la fine poussière.

6° Le tamisage complet à la machine est recommandé; mais il ne peut faire l'objet d'une prescription tant que les conditions auxquelles doit satisfaire la machine ne sont pas rigoureusement arrêtées.

7° On exprimera les résultats, pour chaque tamis, en totalisant les résidus qui ne sont pas susceptibles d'y passer.

Paris, le 5 mai 1892.

DURAND-CLAYE.

SUR

LE POIDS SPÉCIFIQUE

DES CIMENTS ET DES CHAUX HYDRAULIQUES.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. E. CANDLOT.

La détermination du poids spécifique des ciments et des chaux, dont l'étude a été confiée au Sous-Comité [1], n'est pas entrée jusqu'à présent en France dans la pratique courante des laboratoires d'essais de matériaux de construction. Il n'en est pas de même en Allemagne, en Suisse, en Autriche et dans plusieurs autres pays où l'on manque rarement de rechercher le poids spécifique de tous les produits hydrauliques sur lesquels on exécute des essais complets.

On se contente en France de déterminer le poids du litre non tassé, c'est-à-dire la densité apparente. Nous n'avons pas besoin de dire combien ce renseignement est insuffisant. Non seulement on a reconnu que l'importance que l'on y attachait autrefois n'est pas justifiée, mais les conditions mêmes dans lesquelles on fait l'expérience, l'appareil employé, l'état physique de la poudre amènent dans les résultats des variations souvent très grandes et enlèvent à cet essai tout caractère de précision.

La densité absolue au contraire ne peut donner lieu à aucune indécision et, si l'expérience est convenablement faite, le même produit doit toujours donner exactement le même chiffre.

Mais c'est précisément la difficulté d'exécuter sans de trop grandes précautions et avec toute la précision nécessaire la détermination du poids spécifique qui a empêché jusqu'à présent cet essai de se propager. La nécessité d'employer un liquide n'ayant aucune action sur le ciment ou la chaux, tel que la benzine, l'essence de pétrole, de prendre un poids assez considérable de matière, d'opérer à une température parfaitement uniforme, sont les principaux obstacles qui rendent cette expérience très délicate. Enfin, on ne peut se contenter d'un résultat à peu près exact, il faut arriver à une très grande précision.

Nous passerons bientôt en revue les principaux appareils qui ont été proposés pour déterminer le poids spécifique des produits hydrauliques; nous devons tout d'abord examiner si cet essai a un intérêt bien réel.

Le poids spécifique permet de reconnaître, parfois avec certitude, quelle est la classe de l'agglomérant que l'on a à essayer. Si l'on trouve une densité de 3,150 par exemple, on peut affirmer que l'on a affaire à un ciment portland artificiel.

Par la recherche de la densité absolue on peut encore arriver à prévoir certaines additions de matières étrangères à un produit dont la composition est régulière et connue. Le ciment

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

portland a une densité moyenne de 3,10; celle de laitier de haut fourneau est de 2,60. Un ciment contenant 20 p. 100 de laitier aura une densité de 3,00, et s'il est présenté comme ciment portland pur, on sera en droit de le considérer comme suspect.

La cuisson plus ou moins parfaite d'un ciment ne peut pas être décelée par le poids spécifique : la densité apparente des ciments peu cuits ou très cuits est différente quand on examine des morceaux de ciment à la sortie des fours; on aurait pu croire que, une fois le ciment réduit en poudre, on trouverait des écarts très sensibles dans le poids spécifique; on aurait eu, dans ce cas, un procédé très simple d'apprécier le degré de cuisson du ciment. Malheureusement les résultats entre un ciment cuit jusqu'au commencement de vitrification et un ciment à peine fritté sont si voisins que l'on doit renoncer à retirer de la détermination du poids spécifique des conclusions à cet égard. Un ciment très bien cuit a donné, par exemple, 3,154, et sur un ciment provenant de la mouture de roches très légères, comme des incuits, on a trouvé 3,108.

Quand on détermine le poids spécifique d'un ciment portland, il est indispensable de connaître en même temps sa teneur en eau et acide carbonique; si la perte au feu dépasse 2 à 3 p. 100, il faut rechercher la densité sur le ciment préalablement porté pendant une heure environ à une température de 1.000 à 1.200 degrés. Si le ciment est éventé, il peut, en effet, avoir une densité inférieure à 3,05, et si on ne s'assurait pas qu'il possède une densité normale quand il est privé d'eau et d'acide carbonique, on pourrait croire qu'il contient des matières étrangères.

Nous décrirons les principaux appareils qui ont été proposés pour déterminer le poids spécifique des chaux et des ciments et nous en signalerons les inconvénients ou les avantages de manière à reconnaître s'il en est un qui présente à un plus haut degré les qualités d'un appareil de ce genre, c'est-à-dire l'exactitude, la facilité d'exécution de l'essai, la simplicité.

Gravimètre de Mann. — Nous empruntons à une note publiée par notre collègue M. Brüll, dans les *Annales de la construction*, la description du gravimètre de Mann (fig. 1).

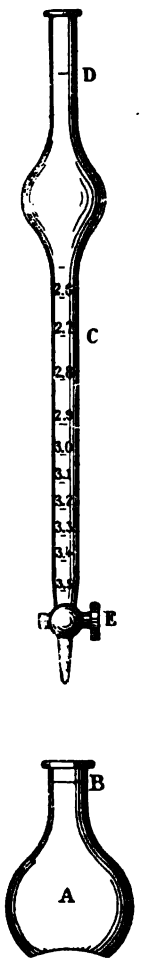


Fig. 1.

« Cet appareil se compose d'un flacon A, dont la contenance jusqu'à un repère B est connue, et d'un tube C, muni à son extrémité d'un robinet E; la contenance de ce tube jusqu'au repère D est exactement égale à celle du flacon A.

Pour mesurer le volume exact des grains d'une quantité de ciment, on se sert de liquides n'ayant aucune action sur le ciment, comme l'essence de térébenthine, l'alcool absolu, l'huile de paraffine, dont on remplit le tube C jusqu'en D.

On verse, après l'avoir soigneusement pesée, la poudre de ciment dans le flacon A. La quantité de ciment doit toujours être telle que son volume n'occupe pas plus de la moitié du flacon, qu'on a soin d'agiter de manière à provoquer le départ des petites bulles d'air qui pourraient adhérer aux grains de ciment. Puis, on verse, au moyen du robinet E, le liquide du tube C dans le flacon A, de telle sorte que le niveau du liquide corresponde au repère B; on agite doucement le flacon en l'inclinant pour chasser l'air, et on ajoute du liquide avec le tube C, s'il y a lieu, afin d'atteindre très exactement le repère B.

Le volume de liquide qui reste, après cette opération, dans le tube C est celui des grains de ciment. Pour plus de commodité, on gradue ce tube de manière qu'on puisse y lire directement le poids spécifique du ciment, le poids introduit dans le flacon étant toujours le même, soit 0 kg. 050 par exemple. »

Nous n'avons pas fait d'essai avec cet appareil, et nous ne l'avons vu dans aucun laboratoire; nous ne saurions dire s'il est d'un maniement facile; d'après la description qui vient d'être faite, son emploi ne doit pas présenter de difficulté. Mais il est douteux que l'on puisse obtenir une précision satisfaisante; l'appareil doit, en effet, rester à l'air et il est presque impossible dans ce cas d'arriver à des résultats concordants, les moindres variations de température ayant une influence très sensible en raison de la dilatation très grande des liquides employés. De plus, pendant que l'on verse le liquide du tube C dans le flacon A il se produit une évaporation plus ou moins considérable et c'est une nouvelle source d'erreur; le robinet peut ne pas fermer très exactement, etc. Enfin il est difficile de chasser complètement les bulles d'air même en agitant assez longtemps, surtout si l'on essaye une chaux ou un ciment très léger.

Appareil de Keate. — L'appareil de Keate (fig. 2) est constitué par un flacon composé de deux ballons superposés réunis par un tube de peu de longueur; sur ce tube est tracé un trait. Le ballon inférieur a une capacité quelconque. Le col du ballon supérieur porte également un trait, et le volume entre les deux traits est de 1.000 grains (soit environ 65 centimètres cubes).

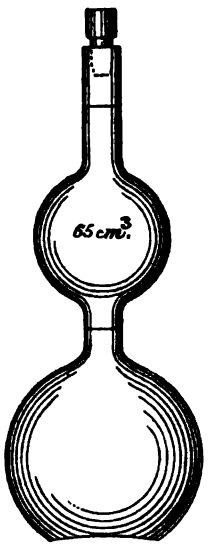


Fig. 2.

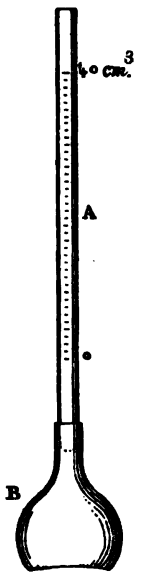


Fig. 3.

Pour faire un essai, on remplit le ballon de benzine jusqu'au premier trait et on pèse le tout. Puis on introduit la matière à essayer jusqu'à ce que le liquide affleure au trait supérieur. On pèse de nouveau; l'augmentation de poids correspond au poids de matière contenu dans un volume de 1.000 grains; on en déduit le poids spécifique.

Cet appareil présente le même défaut que le précédent: on est obligé d'opérer à l'air; de plus, il est très difficile d'obtenir le départ des bulles d'air.

Volumètre de Schumann. — Le volumètre de Schumann (fig. 3) est employé couramment en Allemagne, en Suisse, en Belgique, etc., où on le trouve dans tous les laboratoires d'essais de matériaux hydrauliques. Il se compose d'un tube gradué A fixé par un ajutage à l'émeri sur un flacon B. Le tube est divisé en dixièmes de centimètre cube et la capacité graduée est de 40 centimètres cubes. L'expérience se fait de la manière suivante : le tube étant fixé sur le flacon, on remplit celui-ci de benzine jusqu'aux premières divisions; on attend quelques instants et on note la division à laquelle s'est fixée la benzine. On pèse 100 grammes de ciment ou de chaux que l'on introduit avec précaution dans l'appareil, et quand toute la poudre a été versée, on lit la division correspondant au niveau atteint par le liquide dans le tube gradué; la différence avec le chiffre observé précédemment donne le volume occupé par les 100 grammes d'agglomérant.

L'appareil de Schumann donne des résultats satisfaisants; on peut le plonger dans l'eau avant d'introduire la poudre et quand l'opération est terminée; il reste peu de bulles d'air dans le flacon parce qu'elles ont été expulsées au fur et à mesure que l'on a versé la poudre, qui a dû traverser une hauteur de plus en plus grande de benzine. Mais il faut un temps très long pour faire un essai et on doit prendre de très grandes précautions pour le mener à bonne fin; la poudre se colle et s'agglomère sur les parois du tube, qu'elle bouche complètement dès que l'on verse un peu trop vite; il faut alors imprimer au flacon de légères secousses jusqu'à ce que l'on soit parvenu à faire descendre la poudre.

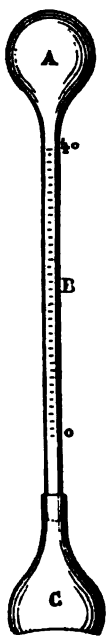


Fig. 4.

Appareil Candlot. — Cet appareil (fig. 4) ne diffère du précédent que par le tube gradué qui se termine par un ballon au lieu d'être ouvert aux deux extrémités. Pour déterminer la densité d'une poudre à l'aide de cet appareil, on opère de la façon suivante : on introduit de la benzine dans le ballon A, de manière que, l'appareil étant retourné, elle remplisse le flacon C et qu'elle vienne jusqu'à une des premières divisions du tube B; puis, le tube étant bien fixé sur le flacon, on retourne l'appareil; la benzine se rend de nouveau en A; on enlève le flacon C et on y introduit 100 grammes d'agglomérant. On replace le flacon avec précaution et on redresse l'appareil en agitant de manière à bien mélanger le liquide avec la poudre pour faciliter le départ des bulles d'air; le niveau du liquide dans le tube gradué s'est élevé, et la différence avec le premier correspond au volume occupé par les 100 grammes de poudre. On a eu soin d'ailleurs de maintenir le flacon C dans l'eau avant de noter le premier niveau de la benzine dans le tube gradué; à la fin de l'opération, on le maintient de nouveau dans l'eau pendant un certain temps.

L'exécution de l'expérience est très rapide et la précision est aussi grande qu'avec le volumètre de Schumann; l'appareil est cependant un peu fragile, et son maniement est assez délicat. Les bulles d'air sont expulsées facilement quand on opère sur du ciment portland pas trop finement moulu; avec les chaux, on n'obtient le départ des bulles qu'après avoir agité l'appareil pendant un temps assez long, et c'est là un inconvénient sérieux.

Appareil Le Chatelier. — M. H. Le Chatelier a proposé un appareil (fig. 5) qui paraît réaliser toutes les qualités que l'on peut demander à un instrument de ce genre. Après quelques tâtonnements, et d'accord avec M. H. Le Chatelier, nous avons adopté définitivement la disposition suivante : une fiole de 120 cm³ de capacité environ est surmontée d'un col étroit de 20 centimètres de longueur; à la partie supérieure existe un renflement d'une capacité de 20 cm³; un trait est gravé au-dessous du renflement et un autre immédiatement au-dessus; le volume entre ces deux traits est très exactement de 20 cm³. A partir du trait supérieur le col est gradué de 0 à 3 cm³ par 1/10 de centimètre cube. Le diamètre du col est de 0,009 environ. La longueur du col entre la fiole et le renflement doit être de 10 centimètres.

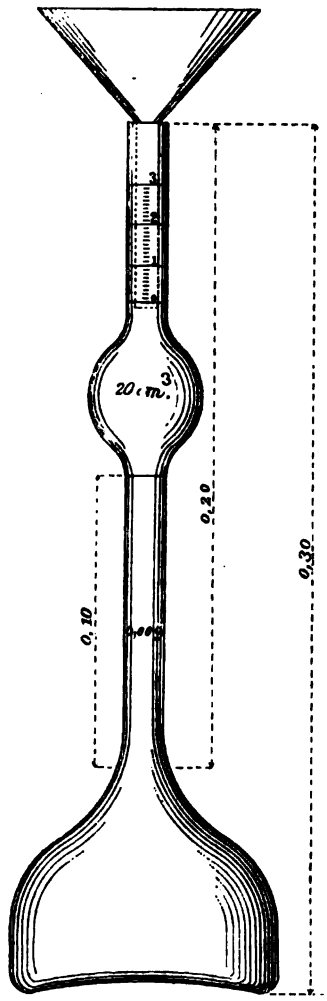


Fig. 5.

Pour déterminer la densité d'une poudre à l'aide de cet appareil, on peut opérer de deux façons:

1° On remplit la fiole de benzine jusqu'au trait inférieur, puis, après avoir pesé exactement 64 grammes de poudre, on introduit celle-ci dans la fiole à l'aide d'un entonnoir; la tige de l'entonnoir descend dans le col de l'appareil jusqu'à quelques millimètres au-dessus du premier trait; de cette façon, la poudre en tombant ne peut pas s'agglomérer sur les parois du col et l'obstruer; d'autre part, les deux traits étant très voisins du renflement, il n'y a jamais à craindre que l'introduction de la poudre dans la fiole soit arrêtée par suite d'une obstruction du tube au-dessus de la benzine, comme cela se produit avec le volumètre de Schumann.

Quand le niveau de la benzine approche du trait supérieur, on verse la poudre avec précaution et par très petites quantités à la fois, on continue jusqu'à ce que l'on ait obtenu l'affleurement; on pèse ce qui reste de poudre; le poids trouvé est retranché des 64 grammes, et la différence représente le poids de poudre contenu dans 20 cm³; en divisant ce poids par 20, on a la densité de l'agglomérant.

2° L'opération s'exécute de la même manière que précédemment, mais, au lieu d'arrêter de verser la poudre quand la benzine affleure au trait supérieur du col, on l'introduit en totalité dans l'appareil; le niveau de la benzine atteint une des divisions comprises entre 0 et 3 cm³; on a ainsi un poids de poudre dans 20 cm³ + n/10 de centimètre cube et on divise ce poids par le volume observé.

Avec la première manière d'opérer, on peut toujours prendre 64 grammes de poudre, quel que soit l'agglomérant à essayer; dans le second cas, on doit prendre un poids différent selon la densité probable du produit. Avec les ciments portlands dont la densité est supérieure à 3,0, on prendra 64 grammes; avec les ciments naturels, les ciments de grappiers et les ciments de laitier, ce sera 60 grammes, et enfin 57 grammes seulement pour les produits dont la densité est inférieure à 2,7.

Pendant toute l'opération, on maintient la fiole dans l'eau; il ne reste à l'air que la partie supérieure; les erreurs dues aux variations de température sont ainsi complètement évitées.

L'affleurement de la benzine aux traits gravés sur le col de la fiole doit se faire avec toute la précision nécessaire; il faut que le ménisque soit bien exactement tangent au trait, et, pour s'en assurer, on doit placer la fiole verticalement à hauteur de l'œil, et derrière le trait on placera un papier noir et blanc qui permet de distinguer très nettement le ménisque.

Les bulles d'air sont expulsées complètement sans que l'on ait à toucher l'appareil; grâce à la longueur du col, la poudre doit traverser une grande hauteur de benzine; elle se divise et abandonne les bulles d'air qu'elle a pu entraîner.

Les résultats obtenus sont très précis; on a toujours la première décimale avec certitude; sur la deuxième, les écarts les plus importants ne dépassent pas deux unités, ce qui est très suffisant [1].

Il résulte de ce que nous venons d'exposer que, sans pouvoir dire que l'appareil Le Chatelier doive être employé à l'exclusion de tout autre, on peut, en raison des avantages qu'il présente, le recommander tout spécialement; son usage ne tardera certainement pas à devenir général dans tous les laboratoires.

CONCLUSIONS.

Pour déterminer le poids spécifique des ciments et des chaux, on pourra employer l'une des méthodes actuellement en usage, pourvu qu'elle permette d'obtenir la première décimale avec certitude et la deuxième avec une approximation de deux unités de cet ordre.

Les précautions à prendre dans l'exécution de l'expérience sont les suivantes :

1° On s'assurera que le ciment, ou la chaux, est bien franchement pulvérulent; les parties agglomérées par l'humidité, qui seraient retenues par le tamis de 900 mailles par centimètre carré, seront réduites en poudre, passées à ce tamis et mélangées intimement avec la totalité de l'échantillon sur lequel on doit faire l'essai;

2° Le liquide dont on se servira sera la benzine ou l'essence minérale;

3° La température devra rester constante pendant toute la durée de l'opération; elle ne devra pas être supérieure à 15 degrés;

4° On exécutera sur la poudre à essayer deux ou plusieurs essais jusqu'à ce que l'on ait obtenu des résultats concordants.

Boulogne-sur-Mer, le 7 décembre 1892.

E. CANDLOT.

[1] Nous n'avons pas à parler ici des procédés ordinaires employés pour prendre la densité des solides, tels que la méthode du flacon ou de la balance hydrostatique, qui sont beaucoup trop délicats et nécessitent des balances de très grande précision.

SUR

LA DENSITÉ APPARENTE

DES CIMENTS PORTLANDS.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. PAUL ALEXANDRE.

EXPOSÉ.

Dans sa séance du 4 mars 1892, le Comité d'études de la Section B a décidé que la densité apparente des ciments portlands serait déterminée en pesant le volume contenu dans une mesure cylindrique ayant une capacité d'un litre et une hauteur de 0 m. 10. Le Sous-Comité d'expériences[1] a été chargé de présenter des propositions quant au choix de l'appareil à employer pour le remplissage de la mesure.

Conformément à la délibération du Comité, les recherches ont porté sur les appareils suivants :

1° *Appareil Tetmajer;*

2° *Plan incliné;*

3° *Entonnoir normal allemand;*

4° *Tamis Viallet.*

Nous ferons connaître successivement les études auxquelles ont donné lieu ces divers appareils, ainsi qu'un cinquième, l'*entonnoir à tamis*, que le Sous-Comité a fait construire en apportant quelques modifications au tamis Viallet; nous comparerons ensuite les résultats obtenus pour en tirer des conclusions.

§ 1er.

APPAREIL TETMAJER.

Cet appareil, qui est disposé en vue d'obtenir le tamisage et le tassement du ciemnt, se compose essentiellement d'une mesure cylindrique d'un litre de capacité (M), munie de deux oreilles par lesquelles un châssis peut la soulever pour la laisser retomber en produisant une secousse.

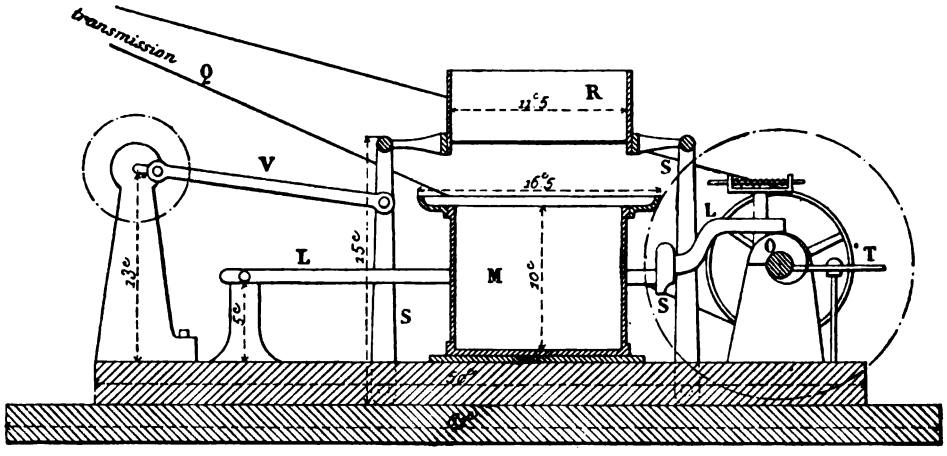
---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

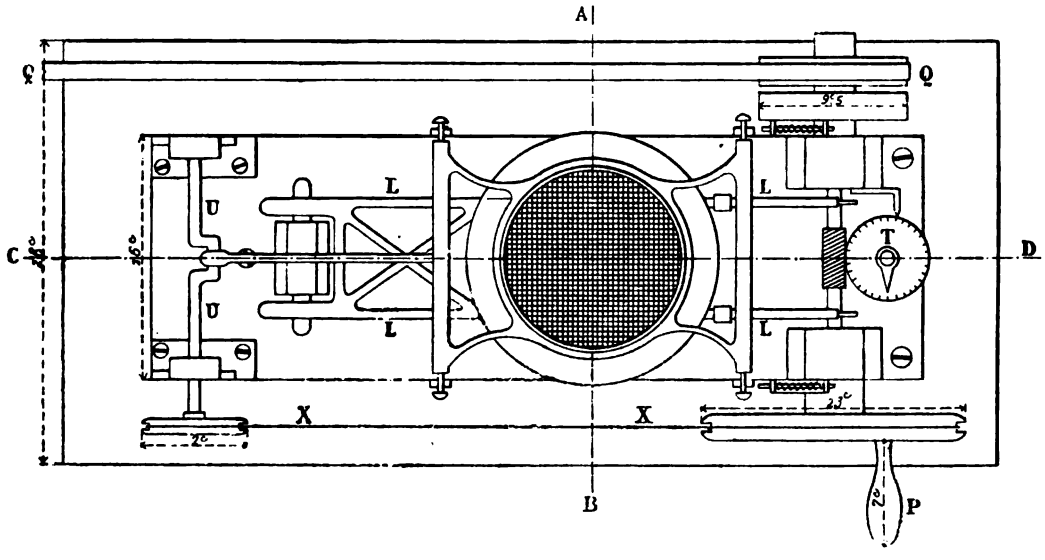
Le châssis est formé de deux leviers (L) entretoisés, dont une extrémité tourne autour d'un axe horizontal fixé au bâti, tandis que l'autre extrémité repose sur des cames (O) portées également par un axe horizontal, auquel on imprime, soit directement au moyen d'une manivelle

APPAREIL TETMAJER.

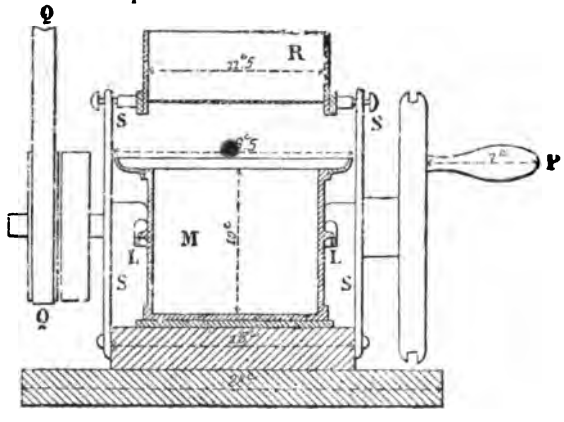
Coupe en long (suivant CD).



Plan.



Coupe suivant AB.



(P), soit par l'intermédiaire d'une transmission (Q), un mouvement de rotation uniforme. Au-dessus de la mesure oscille un tamis (R) porté par un système de leviers (S) articulés à leur point d'attache au bâti; le mouvement de va-et-vient est imprimé par une sorte de bielle (V) fixée sur un arbre coudé (U) qu'une transmission (X) relie à celui portant les cames. A chaque rotation complète de ce dernier correspondent un soulèvement et une retombée du châssis,

par conséquent une secousse de la mesure et deux oscillations complètes et demie (va-et-vient) du tamis. Un compteur (T) permet d'enregistrer jusqu'à 10.000 tours.

On peut se servir de l'appareil Tetmajer suivant deux méthodes qui ont été recommandées par les conférences de Munich, Dresde et Berlin sous les dénominations de méthodes α et β.

La méthode α, qui consiste à remplir la mesure laissée fixe en faisant passer le ciment à travers le tamis oscillant au-dessus d'elle, a été écartée par le Comité (délibération du 4 mars) en raison des trépidations plus ou moins intenses et régulières que les mouvements du tamis produisent inévitablement dans le bâti de l'appareil sur lequel repose la mesure.

La deuxième méthode (β) comporte le tassement par secousses du ciment qu'on a introduit, comme dans la méthode (α), en le faisant passer à travers le tamis. Les résultats doivent dépendre évidemment du nombre de secousses auxquelles la mesure a été soumise. On pourrait songer tout d'abord, ainsi que l'a fait remarquer un de nos collègues lors de la délibération du Comité, à pousser le tassement jusqu'au maximum, maximum tout relatif qui correspondrait par exemple à un tassement tel, que mille secousses de plus ne produisent qu'une augmentation insignifiante du poids du litre; mais il suffit de quelques expériences pour reconnaître qu'un pareil procédé ne serait pas admissible dans la pratique. Le maximum dont il s'agit n'est obtenu, en effet, qu'après un nombre de secousses considérable (une dizaine de mille au moins) qu'on ne peut, sans dépasser des vitesses compatibles avec la conservation de l'appareil, réaliser en moins d'une heure; comme il est de règle de prendre pour densité apparente le chiffre moyen résultant de plusieurs expériences (cinq dans le cahier des charges généralement adopté pour les fournitures destinées à l'Administration des Ponts et Chaussées), il ne faudrait pas moins d'une demi-journée pour faire la détermination de la densité apparente d'un ciment. Il y a lieu de remarquer, d'ailleurs, qu'un tassement très énergique amène le ciment à un état intermédiaire entre l'état pulvérulent et l'état compact, et qu'on sortirait absolument des usages reçus en donnant le nom de *densité apparente* au poids d'un litre de la matière aussi profondément transformée au point de vue physique.

Il serait désirable d'appliquer la méthode β en imprimant à la mesure un nombre de secousses assez modéré pour que le ciment conservât l'état pulvérulent sous lequel on a coutume de déterminer sa densité apparente et pour que l'opération fût de faible durée. Nous n'avons pas cru cependant devoir descendre au-dessous de 500, bien que ce nombre de secousses conduise encore à un tassement augmentant de moitié environ le chiffre de la densité apparente, tel qu'il résulte des procédés les plus généralement employés; car pendant la première partie de l'opération, le remplissage de la mesure s'effectue peu à peu, avec plus ou moins de régularité, en même temps que le tassement commence, et c'est seulement une fois le remplissage terminé, c'est-à-dire après un nombre de tours déjà assez grand, que le tassement se produit dans des conditions bien uniformes, permettant d'arriver à des résultats comparables.

Nous donnons ci-dessous les chiffres obtenus en limitant le tassement à 500 secousses, et en opérant dans une première série d'expériences (tableau n° 1) sur du ciment portland tel qu'il a été livré par le fabricant et, dans une seconde (tableau n° 2), sur du ciment ayant passé à travers le tamis de 5.000 mailles.

TABLEAU N° 1.

Ciment non tamisé.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE avec tassement.	NOMBRE DE TOURS de l'appareil (A).	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
1	2' 31"	500	1,939	+ 0,0005	(A) Ce nombre est celui des secousses qui ont produit le tassement.
2	2 37	500	1,941	+ 0,0025	
3	2 30	500	1,937	− 0,0015	
4	2 29	500	1,943	+ 0,0045	
5	2 28	500	1,940	+ 0,0015	
6	2 22	500	1,943	+ 0,0045	
7	2 28	500	1,931	− 0,0075	
8	2 27	500	1,942	+ 0,0035	
9	2 30	500	1,931	− 0,0075	
10	2 29	500	1,938	− 0,0005	
MOYENNES			1,9385	0,0034	

TABLEAU N° 2.

Ciment tamisé (5.000 mailles).

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE avec tassement.	NOMBRE DE TOURS de l'appareil (A).	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
1	2′ 29″	500	1,689	0,000	(A) Ce nombre est celui des secousses qui ont produit le tassement.
2	2 30	500	1,687	— 0,002	
3	2 33	500	1,681	— 0,008	
4	2 28	500	1,690	+ 0,001	
5	2 29	500	1,693	+ 0,004	
6	2 28	500	1,696	+ 0,007	
7	2 30	500	1,690	+ 0,001	
8	2 29	500	1,690	+ 0,001	
9	2 30	500	1,689	0,000	
10	2 28	500	1,688	— 0,001	
MOYENNES			1,689	0,0025	

L'appareil était actionné à la main par l'intermédiaire d'une transmission; le nombre de tours était de 200 environ à la minute. La moyenne des écarts entre les dix poids constatés dans une même série d'expériences et la moyenne de ces poids ne correspond pas à plus de 3 g. 4 par litre pour la première série et 2 g. 5 pour la seconde, soit respectivement à 0,20 et 0,15 p. 100. Les poids maximum et minimum trouvés n'ont différé l'un de l'autre que de 12 grammes et 15 grammes par litre, soit de 0,6 et 0,9 p. 100.

Pour un même nombre de tours, l'intensité du tassement varie avec la vitesse de rotation de l'appareil ainsi que le montre le tableau ci-dessous (tableau n° 3), qui comprend une série de neuf expériences (trois groupes de trois) faites sur le même ciment, en opérant successivement avec une vitesse grande, modérée (200 tours environ à la minute) et faible. C'est la vitesse modérée qui produit le tassement le plus énergique; les poids maximum et minimum constatés diffèrent de 62 grammes par litre.

TABLEAU N° 3.

Ciment non tamisé.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE avec tassement.	NOMBRE DE TOURS de l'appareil (A).	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
1	1′ 24″	500	1,894	— 0,017	(A) Ce nombre est celui des secousses qui ont produit le tassement.
2	2 28	500	1,939	+ 0,028	
3	4 20	500	1,882	— 0,029	
4	1 24	500	1,901	— 0,010	
5	2 31	500	1,931	+ 0,020	
6	4 32	500	1,907	— 0,004	
7	1 24	500	1,892	— 0,019	
8	2 28	500	1,944	+ 0,033	
9	4 42	500	1,907	— 0,004	
MOYENNES			1,911	0,018	
MOYENNES pour les diverses vitesses de marche de la machine:	Rapide (1-4-7).		1,896 (B)	— 0,015	(B) Ce chiffre est celui obtenu dans la 1re série d'expériences (tableau n° 1).
	Modérée (2-5-8).		1,938	+ 0,027	
	Lente (3-6-9).		1,899	— 0,011	

Il est donc indispensable de fixer la vitesse de rotation en même temps que le nombre de tours. Au contraire, il paraît inutile, quand on fait 500 tours, de préciser le mode de versement du ciment dans le tamis pour effectuer le remplissage; les résultats ne diffèrent pas sensiblement quand la durée du remplissage varie de 30″ à une minute, chiffres que l'on peut considérer comme des limites extrêmes dans la pratique.

Trois opérateurs ayant été chargés de déterminer la densité apparente d'un ciment portland avec l'appareil Tetmajer du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées (Trocadéro) ont obtenu les résultats consignés dans le tableau ci-après.

TABLEAU N° 4.

Ciment non tamisé.

NOM DE L'OPÉRATEUR.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE avec tassement.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne générale.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
A	1	2′ 30″	1,934	+ 0,002	Nombre de tours de l'appareil : 500.
	2	2 27	1,937	+ 0,005	
	3	2 30	1,934	+ 0,002	
	4	2 30	1,936	+ 0,004	
	5	2 32	1,938	+ 0,006	
	MOYENNES		1,936	0,0038	
B	1	2′ 27″	1,924	— 0,008	
	2	2 30	1,935	+ 0,003	
	3	2 34	1,934	+ 0,002	
	4	2 27	1,933	+ 0,001	
	5	2 27	1,924	— 0,008	
	MOYENNES		1,930	0,0044	
C	1	2′ 30″	1,929	— 0,003	
	2	2 26	1,936	+ 0,004	
	3	2 29	1,934	+ 0,002	
	4	2 40	1,923	— 0,009	
	5	2 28	1,934	+ 0,002	
	MOYENNES		1,931	+ 0,0040	
	MOYENNES GÉNÉRALES		1,932	0,0041	

Les écarts des trois densités obtenues sont très faibles; l'écart maximum correspond à 6 grammes par litre, soit à 0,3 p. 100 environ.

§ 2.

PLAN INCLINÉ.

Le cahier des charges-type des fournitures de ciments portlands pour les ports de Calais et de Boulogne définit ainsi qu'il suit la méthode du plan incliné pour la détermination de la densité apparente :

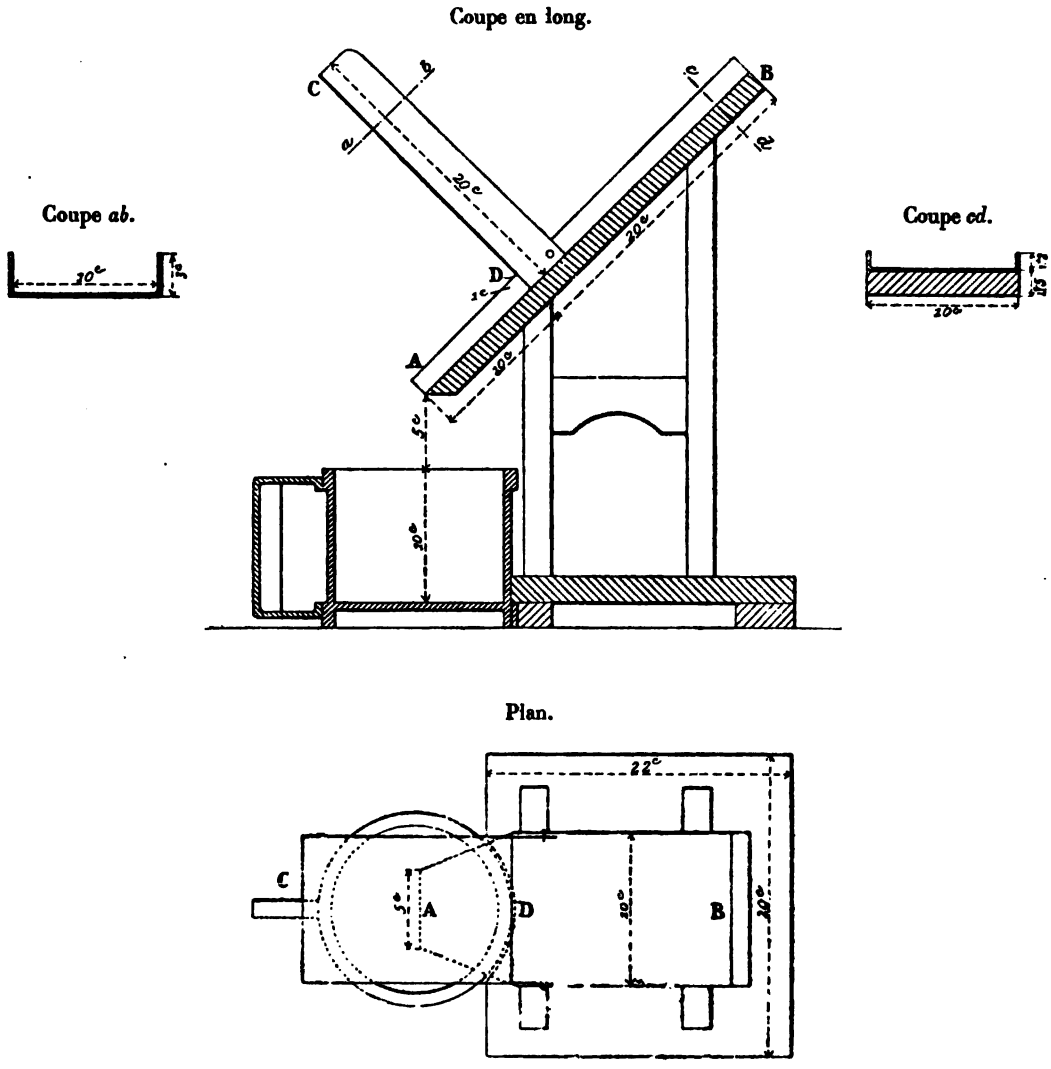
« ... On posera sur un support inébranlable une mesure cubique d'un litre de capacité ; au-dessus de cette mesure, on disposera un plan incliné à 45 degrés formé par une feuille de zinc de 0 m. 50 de longueur dont le bord horizontal inférieur sera fixé à un centimètre au-dessus du niveau du plan supérieur de la mesure ; on versera doucement la poussière de ciment (obtenue par le passage au tamis de 5.000 mailles) à la cuiller sur le sommet de ce plan incliné jusqu'à ce que la mesure soit un peu plus que remplie et on enlèvera l'excès de ciment en faisant glisser sur les bords de la mesure une lame bien droite tenue dans un plan vertical. Pendant toute cette opération, on n'aura fait subir à la mesure aucune trépidation, ni aucun choc. Pour avoir le poids d'un litre, on fera une seule pesée du contenu total de cinq mesures remplies avec les précautions ci-dessus décrites.

Cette méthode, aujourd'hui adoptée pour la plupart des fournitures destinées aux grands travaux maritimes de la Manche et de l'Océan, est également employée au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées où se font de nombreux essais de ciments.

Bien que les résultats obtenus soient généralement concordants et puissent, par suite, être considérés comme satisfaisants, la plupart des membres du Sous-Comité qui ont fait usage de l'appareil se sont plaints que le mode de versement du ciment ne soit pas suffisamment défini, — que le remplissage de la mesure cylindrique ne puisse être réalisé d'une manière toujours uniforme, — et que le moment où ce remplissage, qui n'a jamais lieu par couches régulières, doit être considéré comme terminé, et où il convient d'effectuer le dérasement pour enlever l'excès de ciment, soit difficile à apprécier. Ces objections avaient déjà frappé MM. les Directeurs du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées et les avaient conduits à apporter à l'appareil primitif quelques légères modifications. Le Sous-Comité les a adoptées en les complétant et, après de nombreuses expériences sur lesquelles il ne paraît pas utile de nous étendre, s'est définitivement arrêté aux dispositions suivantes :

Le plan incliné est formé d'une feuille de zinc de 0 m. 30 de longueur (AB), inclinée à 45°,

PLAN INCLINÉ.



dont la largeur mesure 0 m. 10 sur les premiers vingt centimètres comptés à partir de l'extrémité supérieure et se réduit progressivement de 0 m. 10 à 0 m. 05 sur les dix autres centimètres. Au point (D) où commence la réduction de largeur une seconde feuille de zinc, dite *contre-plan*, de 0 m. 20 de longueur et de 0 m. 10 de largeur, également inclinée à 45 degrés, vient aboutir perpendiculairement à la première, en laissant toutefois entre les deux un jour d'un centimètre.

Les deux plans sont munis d'un rebord. La mesure d'un litre à remplir est placée à o m. o5 en contre-bas du bord inférieur du plan.

Le ciment est versé à la cuiller au sommet du contre-plan (C) assez lentement pour que le jour ménagé à la rencontre des deux plans ne puisse s'obstruer, ce qui exige un versement effectué par petites masses et avec une vitesse modérée. La réduction de la largeur du plan incliné a pour effet de diriger le ciment vers le centre de la mesure dont le remplissage s'opère ainsi avec uniformité. Enfin, grâce à la hauteur de o m. o5 laissée libre au-dessus d'elle, le ciment en excès forme une sorte de chapeau conique assez régulier que l'on dérase lorsque la surface de sa base s'est suffisamment étendue pour couvrir complètement le bord supérieur de la mesure.

Nous donnons ci-dessous (tableaux n° 5 et n° 6) les chiffres obtenus dans deux séries d'expériences faites en opérant comme précédemment sur du ciment non tamisé et sur du ciment ayant passé à travers le tamis de 5.000 mailles.

TABLEAU N° 5.

Ciment non tamisé.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.		
1	2′ 0″	1,329	+ 0,006	Le ciment a été passé au tamis de 49 mailles par centimètre carré pour le débarrasser des grumeaux.
2	1 0	1,325	+ 0,002	
3	1 47	1,325	+ 0,002	
4	2 5	1,322	— 0,001	
5	1 52	1,323	0,000	
6	1 52	1,321	— 0,002	
7	1 54	1,324	+ 0,001	
8	1 55	1,320	— 0,003	
9	1 44	1,322	— 0,001	
10	2 0	1,318	— 0,005	
MOYENNES		1,323	0,0023	

TABLEAU N° 6.

Ciment tamisé (5.000 mailles).

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1	4′ 25″	1,142	— 0,006	
2	1 35	1,147	— 0,001	
3	2 20	1,144	— 0,004	
4	4 5	1,144	— 0,004	
5	1 5	1,155	+ 0,007	
6	2 12	1,152	+ 0,004	
7	4 15	1,144	— 0,004	
8	0 55	1,155	+ 0,007	
9	1 45	1,150	+ 0,002	
10	2 30	1,143	— 0,005	
MOYENNES		1,143	0,0044	

Dans les diverses opérations de la première série d'expériences (tableau n° 5), la durée du remplissage a peu varié ; dans celles de la seconde série, au contraire, on s'est attaché à verser le ciment, tantôt très lentement (1°, 4°, 7°), tantôt aussi vite que le permettait la condition de ne pas produire d'accumulation à l'intersection des deux plans (2°, 5°, 8°), tantôt avec une vitesse modérée. La moyenne des écarts entre les dix poids constatés dans une même série d'expériences et la moyenne de ces poids correspond à 2 g. 3 par litre pour la première série, et à 4 g. 4 pour la seconde (malgré les variations de vitesse), soit respectivement à 0,2 et 0,4 p. 100. Les poids maximum et minimum ont différé de 11 grammes et de 13 grammes, soit de 0,9 et 1,2 p. 100.

Trois opérateurs ayant été chargés de déterminer la densité apparente d'un ciment portland avec le plan incliné ont obtenu les résultats consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU N° 7.

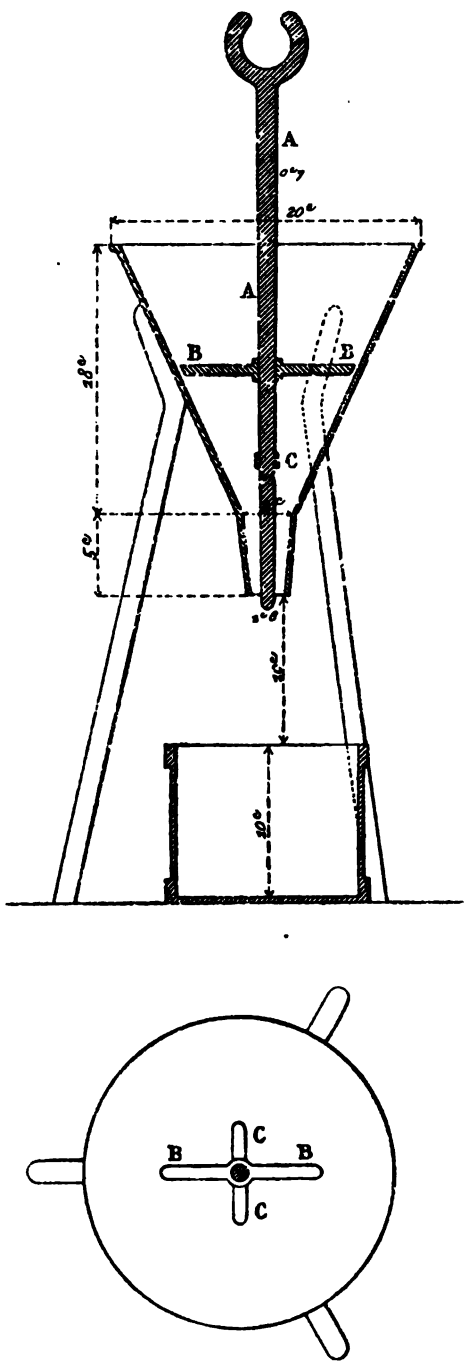
Ciment non tamisé.

NOM DE L'OPÉRATEUR.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne générale.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
A	1	1′ 29″	1,324	0,000	
	2	1 27	1,319	— 0,005	
	3	1 39	1,318	— 0,006	
	4	1 22	1,322	— 0,002	
	5	1 40	1,320	— 0,004	
	MOYENNES		1,321	0,0034	
B	1	1′ 22″	1,326	+ 0,002	
	2	1 26	1,329	+ 0,005	
	3	1 11	1,328	+ 0,004	
	4	1 13	1,324	0,000	
	5	1 7	1,326	+ 0,002	
	MOYENNES		1,327	0,0026	
C	1	1′ 50″	1,325	+ 0,001	
	2	1 52	1,325	+ 0,001	
	3	2 7	1,325	+ 0,001	
	4	2 34	1,320	— 0,004	
	5	2 7	1,325	+ 0,001	
	MOYENNES		1,324	0,0016	
MOYENNES GÉNÉRALES			1,324	0,0025	

L'écart entre la plus forte et la plus faible des densités obtenues correspond à 6 grammes par litre, soit à 0,5 p. 100.

§ 3.

ENTONNOIR NORMAL ALLEMAND.



L'entonnoir dont l'emploi a été recommandé par les conférences de Munich, Dresde et Berlin [1], a la forme d'un tronc de cône dont la base supérieure mesure 0 m. 20, la base inférieure 0 m. 02 et la hauteur 0 m. 18; il est terminé par un ajutage également de forme tronconique, de 0 m. 05 de hauteur, dont la base inférieure a 0 m. 016 de diamètre. Les trois tiges qui portent l'appareil l'élèvent à 0 m. 20 environ au-dessus de la table sur laquelle il est placé, de telle sorte que l'orifice inférieur de l'entonnoir soit à 0 m. 10 au-dessus de la mesure d'un litre destinée à recevoir le ciment. On facilite le remplissage en faisant mouvoir au centre de l'appareil une tringle (A) de 0 m. 007 environ de diamètre, qui est guidée par deux petites tiges de fer (B), (C) disposées en croix, dont les extrémités s'appuient sur les parois de l'entonnoir.

Nous avons admis que le remplissage doit être arrêté quand il s'est formé au-dessus de la mesure un cône ayant le bord circulaire supérieur pour base, et que le dérasement doit être effectué en faisant glisser sur ce bord une lame tenue dans un plan bien vertical.

[1] L'appareil dont nous donnons ici la description est celui que le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées est arrivé à se procurer en s'adressant aux sources les plus autorisées.

En opérant comme précédemment sur du ciment non tamisé et sur du ciment ayant passé au tamis de 5.000 mailles, nous avons obtenu les chiffres consignés aux tableaux ci-dessous :

TABLEAU N° 8.

Ciment non tamisé.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1	2' 0"	1,345	+ 0,003	
2	2 0	1,337	— 0,005	
3	1 40	1,344	+ 0,002	
4	1 45	1,343	+ 0,001	
5	1 33	1,340	— 0,002	
6	1 39	1,345	+ 0,003	
7	1 36	1,340	— 0,002	
8	1 45	1,343	+ 0,001	
9	1 39	1,342	0,000	
10	1 50	1,342	0,000	
MOYENNES		1,342	0,0019	

TABLEAU N° 9.

Ciment tamisé (5.000 mailles).

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1	2' 47"	1,140	+ 0,004	
2	2 26	1,130	— 0,006	
3	2 31	1,133	— 0,003	
4	2 21	1,138	+ 0,002	
5	2 20	1,134	— 0,002	
6	2 31	1,140	+ 0,004	
7	2 35	1,134	— 0,002	
8	2 40	1,140	+ 0,004	
9	2 40	1,136	0,000	
10	2 39	1,139	+ 0,903	
MOYENNES		1,136	0,003	

La moyenne des écarts entre les dix poids constatés dans une même série d'expériences et la moyenne de ces poids correspond à 1 g. 9 par litre pour la première série, et à 3 grammes

pour la seconde, soit respectivement à 0,15 et 0,25 p. 100. Les poids maximum et minimum ont différé de 8 grammes et de 10 grammes, soit de 0,6 et 0,9 p. 100.

Trois opérateurs ayant été chargés de déterminer la densité apparente d'un ciment au moyen de l'appareil ont obtenu les chiffres consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU N° 10.

Ciment non tamisé.

NOM DE L'OPÉRATEUR.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE de CHAQUE RÉSULTAT avec la moyenne générale.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
A	1	1' 55"	1,340	— 0,003	
	2	2 10	1,340	— 0,003	
	3	2 5	1,348	+ 0,005	
	4	1 50	1,340	— 0,003	
	5	2	1,343	0,000	
	MOYENNES		1,342	— 0,001	
B	1	1' 47"	1,339	— 0,004	
	2	1 42	1,348	+ 0,005	
	3	1 40	1,348	+ 0,005	
	4	1 41	1,544	+ 0,001	
	5	1 35	1,346	+ 0,003	
	MOYENNES		1,345	+ 0,002	
C	1	2' 2 "	1,344	+ 0,001	
	2	2 8	1,339	— 0,004	
	3	2 12	1,345	+ 0,002	
	4	2 14	1,338	— 0,005	
	5	2 7	1,339	— 0,004	
	MOYENNES		1,341	— 0,002	
	MOYENNES GÉNÉRALES		1,343	0,0032	

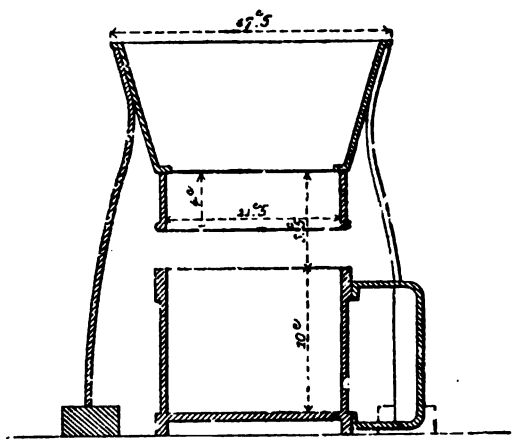
L'écart entre la plus forte et la plus faible des densités trouvées correspond à 3 grammes par litre, soit à 0,25 p. 100 environ. Il y a lieu de signaler que l'appareil fonctionne très bien quand on opère sur du ciment portland sec, moins bien quand on essaye du ciment portland frais qui a traversé le tamis de 5.000 mailles; d'autres produits hydrauliques, tels que certains ciments de Vassy, ciments de laitier et surtout certaines chaux, n'arrivent que très difficilement à passer par l'entonnoir; quelques-uns n'y passent pas du tout. La matière pulvérulente se tasse immédiatement dans l'ajutage qui termine l'entonnoir; les mouvements de la tringle ne font qu'augmenter le tassement, et le remplissage de la mesure devient absolument impossible.

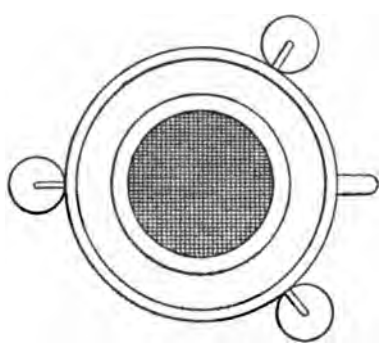
§ 4.

TAMIS VIALLET. — ENTONNOIR À TAMIS.

TAMIS VIALLET.

Coupe.





Spatule.

L'appareil dont notre collègue, M. Viallet, se sert depuis un certain nombre d'années pour déterminer la densité apparente des ciments se compose d'un tamis métallique de 0 m. 115 de diamètre, ayant environ 100 mailles par centimètre carré, maintenu, soit par un trépied, soit par une armature scellée dans un mur, à 0 m. 065 au-dessus de la mesure cylindrique à remplir.

Le tamis forme le fond d'une sorte de vase conique qui se prolonge au-dessous par une partie cylindrique de 0 m. 04 de hauteur, destinée à guider le ciment qui tombe du tamis dans la mesure. On facilite le passage à travers les mailles, du ciment versé sur le tamis, en y promenant une spatule en bois, de telle sorte que le remplissage s'effectue d'une façon régulière et, autant que possible, sans formation de cônes. La mesure étant un peu plus que remplie, on enlève l'excès de ciment, comme dans les méthodes précédentes, en faisant glisser sur les bords du litre une lame bien droite, tenue dans un plan vertical.

Nous donnons ci-dessous les chiffres obtenus avec l'appareil que M. Viallet a bien voulu mettre à la disposition du Comité, en opérant, comme précédemment, sur du ciment n'ayant pas été tamisé, et sur du ciment ayant passé au tamis de 5.000 mailles.

TABLEAU N° 11.

Ciment non tamisé.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1.....	3' 30"	1,350	— 0,013	
2.....	3 0	1,368	+ 0,005	
3.....	3 2	1,372	+ 0,009	
4.....	2 55	1,360	— 0,003	
5.....	2 30	1,362	— 0,001	
6.....	2 45	1,363	0,000	
7.....	3 0	1,365	+ 0,002	
8.....	3 50	1,354	— 0,009	
9.....	2 20	1,378	+ 0,015	
10.....	3 10	1,358	— 0,005	
MOYENNES.....		1,363	0,0062	

TABLEAU N° 12.

Ciment tamisé (5.000 mailles).

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1	2′ 22″	1,166	0,000	Ciment versé par petites quantités sur le tamis.
2	4 6	1,161	— 0,005	*Idem.*
3	2 00	1,180	+ 0,014	*Idem.*
4	4 10	1,168	+ 0,002	*Idem.*
5	2 14	1,171	+ 0,005	*Idem.*
6	1 35	1,159	— 0,007	Ciment versé par grandes quantités.
7	3 0	1,152	— 0,014	*Idem.*
8	1 30	1,173	+ 0,007	*Idem.*
9	2 58	1,154	— 0,012	*Idem.*
10	2 7	1,175	+ 0,009	*Idem.*
MOYENNES		1,166	0,0075	

La spatule employée dans les deux séries d'expériences avait 0 m. 04 de largeur; dans la seconde, on a opéré en versant le ciment, soit par petites, soit par grandes quantités, sur le tamis, sans que les résultats paraissent en avoir été sensiblement affectés (moyennes 1 kg. 667 et 1 kg. 665). M. Viallet avait d'ailleurs signalé qu'il n'était besoin de prendre aucune précaution spéciale pour introduire le ciment dans l'appareil.

La moyenne des écarts entre les divers poids constatés dans une même série d'expériences et la moyenne de ces poids correspond à 6 grammes par litre pour la première série, et à 7 g. 5 pour la seconde, soit respectivement à 0,5 p. 100 et 0,6 p. 100. Les poids maximum et minimum ont différé de 28 grammes par litre dans les deux séries, soit de 2,1 p. 100 et de 2,4 p. 100.

Trois opérateurs ayant été chargés de déterminer la densité apparente d'un ciment au moyen de l'appareil ont obtenu les chiffres consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU N° 13.

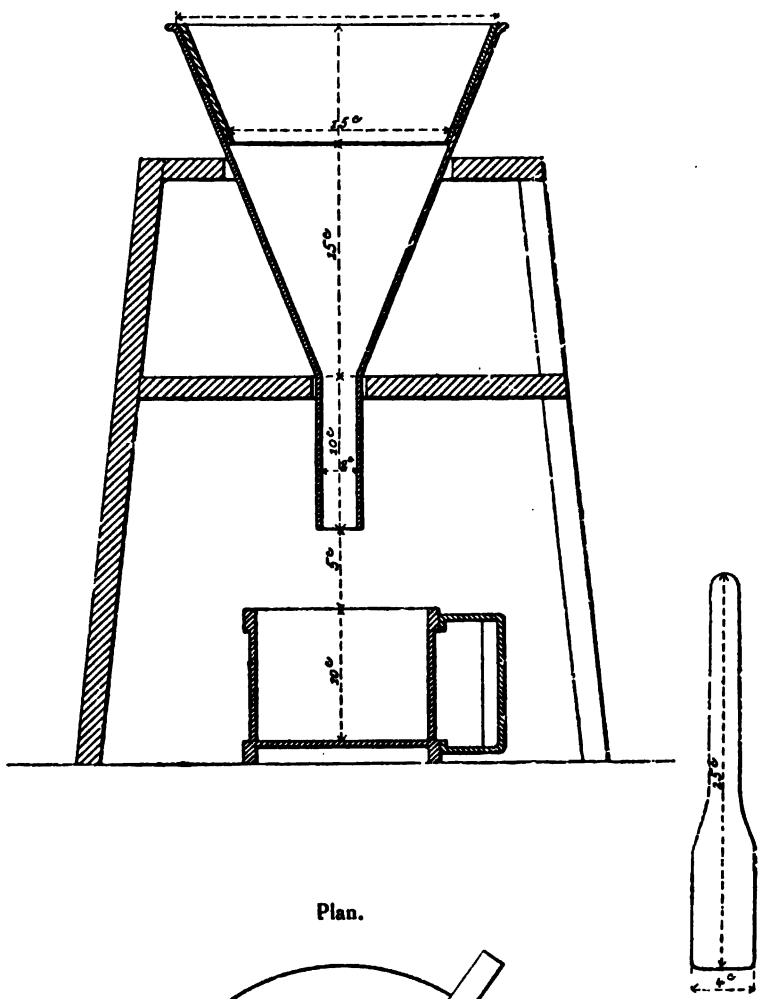
Ciment non tamisé.

NOMS DE L'OPÉRATEUR.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCES entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne générale.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
A	1	2′ 10″	1,347	+ 0,002	Spatule de 0,04 de largeur.
	2	2 20	1,344	— 0,001	
	3	2 20	1,344	— 0,001	
	4	2 20	1,346	+ 0,001	
	5	2 5	1,345	0,000	
MOYENNES			1,345	0	
B	1	2′ 22″	1,344	— 0,001	
	2	2 44	1,340	— 0,005	
	3	2 45	1,334	— 0,011	
	4	2 38	1,335	— 0,010	
	5	3 20	1,336	— 0,009	
MOYENNES			1,338	0,007	
C	1	2′ 5″	1,344	— 0,001	
	2	2 17	1,345	0,000	
	3	2 15	1,353	+ 0,008	
	4	1 55	1,354	+ 0,009	
	5	2 18	1,358	+ 0,013	
MOYENNES			1,351	0,006	
MOYENNES GÉNÉRALES			1,345	0,0048	

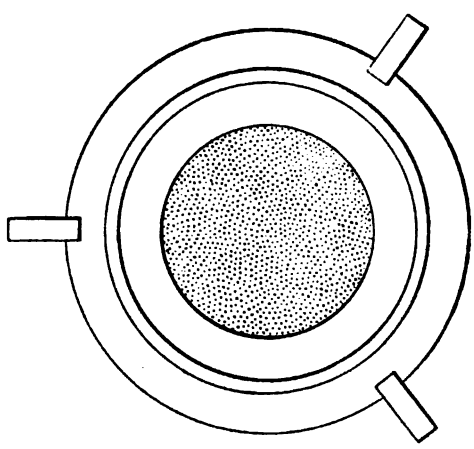
L'écart entre la plus forte et la plus faible des densités trouvées est de 13 grammes par litre, soit environ 1 p. 100.

ENTONNOIR À TAMIS.

Coupe.



Plan.



Ces résultats, quoique très suffisants pour fournir des renseignements rapides sur les chantiers (et c'est dans ce but que notre collègue a construit son appareil), sont incontestablement moins satisfaisants que ceux donnés par l'appareil Tetmajer, le plan incliné et l'entonnoir normal.

Le Sous-Comité a pensé qu'on pourrait, sans compliquer sensiblement l'appareil Viallet, lui donner des dispositions permettant d'arriver à plus de précision.

Si l'on cherche, en effet, à se rendre compte des causes des différences relativement grandes, constatées entre les diverses pesées d'une même série d'expériences, on remarque immédiatement qu'elles se réduisent presque exclusivement à l'irrégularité du remplissage. L'opérateur qui manie la spatule n'arrive pas à voir en même temps ce qui se passe sur le tamis et dans la mesure; le ciment y tombe en formant des vallonnements qui se comblent d'une manière plus ou moins brusque, en amenant des tassements partiels plus ou moins accentués; à la fin de l'opération, le ciment s'élève jusqu'au bord supérieur de la mesure en quelques points, alors qu'il reste de grands vides sur d'autres; il faut donc continuer le remplissage pour l'arrêter seulement quand le bord de la mesure est partout couvert, alors qu'il y a déjà en excédent une couche souvent très épaisse qui pèse sur les couches inférieures, et augmente leur tassement. Il est facile de faire disparaître ces inconvénients, en prolongeant par un entonnoir le vase au fond duquel est placé le tamis, et en terminant cet entonnoir par un ajutage cylindrique de petit diamètre. Grâce à cette disposition, le ciment tombe régulièrement au centre de la mesure, et l'on arrête le remplissage quand il s'est formé au-dessus d'elle un cône ayant le bord circulaire supérieur pour base. Le dérasement s'opère comme précédemment, en faisant glisser sur ce bord une lame tenue dans un plan bien vertical.

Après divers tâtonnements, le Sous-Comité est arrivé à donner à l'appareil, que nous désignerons sous le nom d'*entonnoir à tamis*, les dimensions suivantes :

Diamètre du tamis	0m, 15
Profondeur de l'entonnoir au-dessous du tamis	0 , 15
Diamètre de l'entonnoir à la base	0 , 02
Longueur de l'ajutage	0 , 10
Diamètre de l'ajutage	0 , 02
Hauteur de l'orifice au-dessus de la mesure	0 , 05
Largeur de la spatule	0 , 04

Le tamis est constitué par une tôle de cuivre perforée ayant environ 1.050 trous de 2 millimètres de diamètre par décimètre carré (dimensions que l'on trouve dans le commerce).

En opérant, comme précédemment, sur du ciment ayant et n'ayant pas passé au tamis de 5.000 mailles, on a obtenu les résultats consignés dans les tableaux ci-après (tableaux nos 14 et 15).

TABLEAU N° 14.

Ciment non tamisé.

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1	0' 48"	1,324	+ 0,004	Spatule de 0 m. 06 de largeur.
2	0 48	1,328	+ 0,008	
3	1 15	1,318	— 0,002	Spatule de 0 m. 035 de largeur.
4	1 4	1,315	— 0,005	
5	1 8	1,314	— 0,006	
6	1 12	1,323	+ 0,003	
7	1 0	1,316	— 0,004	
8	1 20	1,322	+ 0,002	
9	1 22	1,318	— 0,002	
10	1 8	1,320	0,000	
MOYENNES		1,320	0,0036	

TABLEAU N° 15.

Ciment tamisé (5.000 mailles).

NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne.	OBSERVATIONS.
		Kg.	Kg.	
1	1' 22"	1,129	— 0,002	Ciment versé par petites quantités.
2	2 25	1,126	— 0,005	*Idem.*
3	1 8	1,132	+ 0,001	*Idem.*
4	2 10	1,130	— 0,001	*Idem.*
5	1 8	1,129	— 0,002	*Idem.*
6	2 20	1,128	— 0,003	Ciment versé par grandes quantités.
7	1 10	1,136	+ 0,005	*Idem.*
8	2 45	1,130	— 0,001	*Idem.*
9	0 58	1,137	+ 0,006	*Idem.*
10	2 20	1,134	+ 0,003	*Idem.*
MOYENNES		1,131	0,0028	

La spatule employée dans les expériences de la première série avait o m. o35 de largeur; pour deux d'entre elles seulement, on s'était servi d'une spatule de o m. o6, permettant un remplissage plus rapide. Dans la deuxième série d'expériences, on a fait usage exclusivement d'une spatule spéciale ayant la largeur de o m. o4 définitivement adoptée. On a aussi, dans cette seconde série, fait varier la quantité de ciment versée à la fois sur le tamis pour s'assurer, ainsi qu'il a été fait avec l'appareil Viallet, que le mode de versement a peu d'influence sur les résultats. La moyenne des écarts entre les divers poids constatés dans une même série d'expériences et la moyenne de ces poids correspond, à 3 g. 6 par litre pour la première série, et à 2 g. 8 pour la seconde, soit à o,3 p. 100 environ. Les poids maximun et minimun ont différé de 14 grammes [1] dans la première série, et de 11 grammes dans la seconde, soit de 1,1 et de 1 p. 100.

Trois opérateurs ayant déterminé successivement la densité apparente d'un même ciment ont obtenu les résultats consignés dans le tableau ci-après :

TABLEAU N° 16.

Ciment non tamisé.

NOM de L'OPÉRATEUR.	NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	DURÉE du REMPLISSAGE.	POIDS D'UN LITRE de ciment.	DIFFÉRENCE entre CHAQUE RÉSULTAT et la moyenne générale.	OBSERVATIONS.
			Kg.	Kg.	
A	1	1' 0"	1,314	— 0,006	Spatule de o m. o4 de largeur.
	2	0 58	1,319	— 0,001	
	3	0 54	1,318	— 0,002	
	4	0 58	1,313	— 0,007	
	5	0 58	1,319	— 0,001	
	MOYENNES		1,717	0,0034	
B	1	0' 59"	1,323	+ 0,003	
	2	1 6	1,321	+ 0,001	
	3	1 6	1,324	+ 0,004	
	4	0 55	1,320	0,000	
	5	0 47	1,320	0,000	
	MOYENNES		1,322	0,0016	
C	1	0' 50"	1,322	+ 0,002	
	2	0 56	1,323	+ 0,003	
	3	0 45	1,324	+ 0,004	
	4	0 56	1,321	+ 0,001	
	5	0 57	1,317	— 0,003	
	MOYENNES		1,321	0,0024	
	MOYENNES GÉNÉRALES		1,320	0,0025	

[1] Les écarts auraient été réduits respectivement à 3 grammes (au lieu de 3 g. 6) et à 9 grammes (au lieu de 14 grammes), si l'on avait employé la même spatule pour toutes les expériences.

L'écart entre la plus forte et la plus faible des densités trouvées correspond à 5 grammes par litre, soit à 0,4 p. 100 environ.

On s'est d'ailleurs assuré qu'avec les dimensions adoptées, l'entonnoir à tamis pourrait être employé à la détermination de la densité apparente des ciments autres que le portland et des chaux hydrauliques.

Il peut être intéressant, à un certain point de vue qu'on ne saurait négliger, de savoir si la méthode de l'entonnoir à tamis conduit à des densités très différentes de celles qui seraient obtenues par la méthode du plan incliné, telle qu'elle est usitée aujourd'hui en France. Les deux séries d'expériences consignées dans le tableau ci-dessous, faites par un opérateur exercé, montrent que les résultats fournis par les deux méthodes sont sensiblement les mêmes : l'écart ne dépasse pas quelques grammes par litre.

TABLEAU N° 17.

PRODUIT EXPÉRIMENTÉ.	PLAN INCLINÉ. (Disposition du cahier des charges de Boulogne.)			ENTONNOIR À TAMIS (Disposition proposée par le Sous-Comité.)			OBSERVATIONS.
	NUMÉROS des expériences.	DURÉE du remplissage.	POIDS d'un litre de ciment.	NUMÉROS des expériences.	DURÉE du remplissage.	POIDS d'un litre de ciment.	
			Kg.			Kg.	
Ciment non tamisé....	1.....	2'0"	1,318	1.....	0' 55"	1,318	Les expériences portant les mêmes numéros d'ordre ont été faites successivement.
	2.....	1 40	1,321	2.....	0 52	1,315	
	3.....	1 45	1,313	3.....	0 47	1,319	
	4.....	1 45	1,318	4.....	0 45	1,315	
	5.....	1 40	1,321	5.....	0 45	1,316	
Densité apparente.....			1,318	Densité apparente.		1,317	
Ciment tamisé ..... (5.000 mailles.)	1.....	1'25"	1,134	1.....	0' 47"	1,234	
	2.....	1 42	1,135	2.....	0 48	1,126	
	3.....	1 40	1,138	3.....	0 47	1,132	
	4.....	1 31	1,129	4.....	0 49	1,132	
	5.....	1 40	1,137	5.....	0 48	1,129	
Densité apparente.....			1,135	Densité apparente.		1,131	

Nous croyons également utile, à un autre point de vue, de signaler que l'entonnoir à tamis conduit aussi à des densités qui sont sensiblement les mêmes que celles obtenues au moyen de l'entonnoir normal allemand. Dans la série d'expériences que nous donnons ci-dessous, l'écart n'a pas dépassé 2 grammes par litre.

TABLEAU N° 18.

Ciment non tamisé.

ENTONNOIR À TAMIS.			ENTONNOIR NORMAL ALLEMAND.		
NUMÉROS des expériences.	DURÉE du remplissage.	POIDS d'un litre de ciment.	NUMÉROS des expériences.	DURÉE du remplissage.	POIDS d'un litre de ciment.
		Kg.			Kg.
1.....	1' 10"	1,340	1.....	2' 2"	1,344
2.....	1 0	1,344	2.....	2 8	1,339
3.....	1 10	1,344	3.....	2 12	1,345
4.....	1 0	1,344	4.....	2 14	1,338
5.....	1 2	1,343	5.....	2 7	1,339
Densité apparente.....		1,343	Densité apparente.....		1,341

§ 5.

COMPARAISON DES DIVERSES MÉTHODES.

Les résultats qu'ont fournis les expériences faites avec les divers appareils étudiés peuvent se résumer de la manière suivante :

TABLEAU N° 19.

Résultats des séries de dix expériences consignées aux paragraphes précédents (tableaux n°s 1, 2, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 14 et 15).

DÉSIGNATION DES APPAREILS.	CIMENT NON TAMISÉ.		CIMENT TAMISÉ (5.000 mailles).		OBSERVATIONS.
	DIFFÉRENCE moyenne entre les résultats des diverses expériences et le résultat moyen.	DIFFÉRENCE maximum entre les résultats des diverses expériences.	DIFFÉRENCE moyenne entre les résultats des diverses expériences et le résultat moyen.	DIFFÉRENCE maximum entre les résultats des diverses expériences.	
	G.	G.	G.	G.	
Appareil Tetmajer (A).....	3,4	12	2,5	15	(A) 500 tours.
Plan incliné.....	2,3	11	4,4	13	(B) Se seraient réduits à 3 et 9 g. si l'on s'était servi d'une même spatule.
Entonnoir normal allemand.....	1,9	8	3,0	10	
Appareil Viallet.....	6,2	28	7,5	28	
Entonnoir à tamis.....	3,6 (B)	14 (B)	2,8	11	

TABLEAU N° 20.

Comparaison des densités obtenues par trois opérateurs (tableaux n°s 4, 7, 10, 13 et 16).

DÉSIGNATION DES APPAREILS.	DENSITÉS OBTENUES PAR LES OPÉRATEURS			DENSITÉ MOYENNE. $\left(\frac{A+B+C}{3}\right)$	DIFFÉRENCE MAXIMUM.	DIFFÉRENCE MAXIMUM des pesées d'un même opérateur.	OBSERVATIONS.
	A.	B.	C.				
	G.	G.	G.	G.	G.	G.	
Appareil Tetmajer (A)..	1.936	1.930	1.931	1.932,3	3,7	13	(A) 500 tours.
Plan incliné.....	1.321	1.327	2.324	1.324,0	3,0	6	
Entonnoir normal allemand.....	1.342	1.345	1.341	1.343,0	2,0	9	
Appareil Viallet.....	1.345	1.328	1.351	1.344,6	6,6	14	
Entonnoir à tamis.....	1.317	1.322	1.321	1.320,0	3,0	6	

L'*entonnoir normal* allemand fournit des résultats très précis; son mode de construction est simple et son emploi assez facile; mais cet appareil présente le grave inconvénient de ne pouvoir être utilisé commodément pour tous les produits hydrauliques, et d'être même d'un usage absolument impossible pour quelques-uns d'entre eux.

Bien que le Comité ait, quant à présent, limité le champ de ses études aux essais des ciments portlands, on ne saurait perdre de vue qu'il aura à s'occuper plus tard des autres ciments et des chaux, et qu'il serait peu rationnel d'adopter, sans y être obligé, pour la détermination des densités apparentes, un appareil qui ne conviendrait qu'à l'un de ces produits.

Ainsi qu'il ressort des deux tableaux ci-dessus, et des explications que nous avons données au paragraphe 4, l'entonnoir à tamis, qui n'est en réalité que l'*appareil Viallet* modifié, fournit des résultats plus précis que ce dernier appareil et doit évidemment lui être préféré.

Les densités obtenues au moyen de l'*appareil Tetmajer* sont très concordantes, et il ne laisse

à ce point de vue rien à désirer, mais son adoption présenterait cependant de nombreux inconvénients.

Tout d'abord, la complication du mécanisme rend le prix de l'appareil relativement élevé et cette considération, bien que secondaire, n'a pas moins une certaine valeur.

En second lieu, l'appareil doit être défini par des dessins de détail soigneusement cotés, le moindre écart dans les dimensions pouvant influer sur les résultats. Ainsi, le tassement du ciment dans la mesure, tassement qui est le point important de l'opération, résulte de chutes répétées d'une hauteur de 10 millimètres, et une très faible modification dans cette hauteur suffirait pour apporter un changement notable dans le chiffre représentant la densité.

Le monopole de la fabrication se trouverait donc forcément entre les mains de quelques constructeurs d'instruments de précision, peut-être d'un seul, et encore serait-on vraisemblablement conduit, avant d'employer un appareil, à le faire contrôler par un bureau central.

A cette difficulté de se procurer un appareil ayant rigoureusement les dimensions réglementaires, s'ajouterait celle de le maintenir en bon état d'entretien. En raison de la vitesse de rotation, des chocs et des trépidations, l'usure des divers organes doit être très rapide, notamment celle des extrémités des leviers et des cames, et la hauteur de chute ne saurait tarder à varier dans les appareils appelés à fonctionner souvent.

Le mode d'emploi de l'appareil Tetmajer n'est pas non plus sans présenter quelques difficultés. On n'obtient des résultats concordants qu'en se plaçant dans des conditions toujours identiques. L'opérateur doit être aidé par un ouvrier très exercé, capable d'imprimer au mécanisme un mouvement de rotation correspondant à un nombre de tours déterminé par minute; si l'on avait à faire des essais quelque peu nombreux, il faudrait actionner l'appareil au moyen d'une machine motrice. En fait, la méthode ne serait facilement appliquée que dans quelques laboratoires bien outillés et ne pourrait jamais devenir d'un usage courant et général.

Rappelons enfin que, même en réduisant le nombre de tours à 500 (et il paraît difficile de descendre beaucoup au-dessous sans sacrifier la précision), le ciment subit un tassement tel que son état physique se trouve profondément modifié, et que la densité apparente obtenue ne répond plus du tout à l'idée du poids de l'unité de volume de la matière à l'état normal, qui est l'état pulvérulent.

Nous pensons que ces diverses considérations suffisent pour faire écarter l'appareil Tetmajer.

Dès lors, nous ne nous trouvons plus en présence que du *plan incliné* et de *l'entonnoir à tamis*. Tous deux paraissent remplir d'une manière complète les trois conditions qu'on doit chercher à réaliser dans l'espèce: précision dans les résultats; — simplicité de construction; — facilité d'emploi.

Au point de vue de la précision, les deux appareils sont à peu près équivalents; ils permettent de déterminer la densité apparente d'un ciment à quelques grammes près par litre, c'est-à-dire avec une approximation inférieure à un demi p. 100, qui est assurément plus que suffisante.

La description des appareils que nous donnons à la suite du rapport fait voir qu'ils peuvent être construits à peu de frais par le premier ferblantier venu; pour l'appareil à tamis, toutefois, il est nécessaire de se procurer un morceau de tôle perforée que quelques maisons seulement sont en mesure de fournir, et c'est là une raison qui tendrait à faire donner la préférence au plan incliné. Mais si l'entonnoir à tamis est d'une construction un peu moins simple, il est, en compensation, d'un usage plus facile. Le mode d'emploi comporte une instruction plus nette, plus précise que celle relative au plan incliné; l'opération est aussi un peu plus rapide, et on peut se dispenser du passage au gros tamis, souvent nécessaire avant d'essayer au plan incliné un ciment à grumeaux; d'ailleurs, les deux appareils mis entre les mains d'un opérateur même peu expérimenté donnent encore des résultats assez exacts pour les besoins de la pratique.

§ 6.

CONCLUSIONS.

Le Sous-Comité est d'avis que le *plan incliné* (plan incliné du cahier des charges de Boulogne modifié) et l'*entonnoir à tamis* (tamis Viallet modifié) paraissent pouvoir l'un et l'autre être adoptés pour la détermination de la densité apparente des ciments.

Avant de fixer définitivement son choix, le Sous-Comité, considérant qu'aucune mesure ne peut être prise avant l'époque de la reprise des travaux du Comité (novembre prochain), estime qu'il y a lieu d'envoyer quatre spécimens des deux appareils à divers laboratoires pour y être expérimentés.

Paris, le 29 juin 1892.

P. ALEXANDRE.

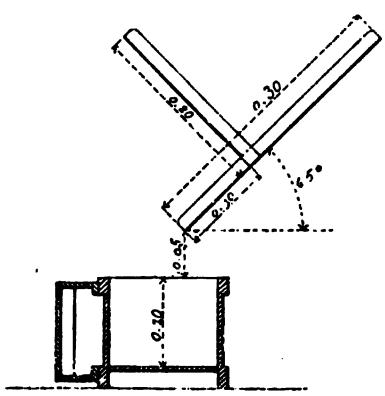
MODÈLES D'INSTRUCTIONS.

PLAN INCLINÉ.

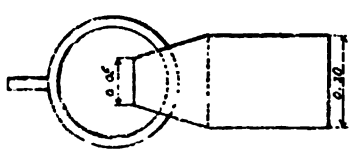
DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

L'appareil se compose d'un « plan incliné » formé d'une feuille de zinc de 0 m. 30 de longueur, inclinée à 45 degrés, dont la largeur mesure 0 m. 10 sur les premiers vingt centimètres comptés à partir de l'extrémité supérieure, et se réduit progressivement de 0 m. 10 à 0 m. 05 sur les dix autres centimètres. Au point où commence la réduction de largeur, une seconde feuille de zinc, dite « contre-plan », de 0 m. 20 de longueur et de 0 m. 10 de largeur, également inclinée à 45 degrés, vient aboutir perpendiculairement à la première, en laissant toutefois entre les deux un jour de 10 millimètres. Les deux plans sont munis d'un rebord; le premier est fixé sur un bâti en bois de forme quelconque.

Élévation.



Plan.



MODE D'OPÉRER.

On place tout d'abord la mesure de 1 litre de capacité (cylindre de 0 m. 10 de profondeur) à 0 m. 05 en contre-bas du bord inférieur du plan incliné, et on lui donne par tâtonnements (en faisant une ou deux expériences préalables) une position telle que le cône qui se formera au-dessus de la mesure à la fin du remplissage soit à peu près régulier (cette position varie avec la nature du ciment).

Le ciment est versé à la cuiller, au sommet du contre-plan, par quantités assez petites et assez lentement pour qu'il ne se produise aucune accumulation de matière dans l'angle formé par les deux plans. On cesse de verser quand la base du cône qui s'est élevé peu à peu au-dessus de la mesure en atteint le bord supérieur. On enlève alors l'excès de ciment en faisant glisser sur ce bord une lame bien droite tenue dans un plan vertical.

Pendant toute l'opération, on n'aura fait subir à la mesure aucune trépidation, ni aucun choc.

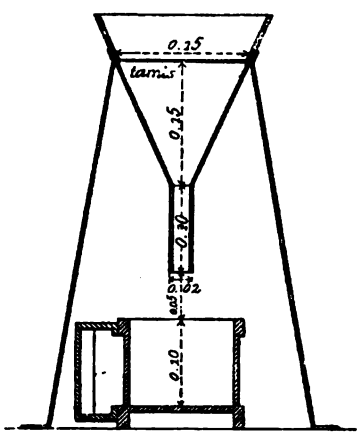
On adoptera comme poids du litre la moyenne des résultats obtenus dans cinq opérations successives.

ENTONNOIR À TAMIS.

DESCRIPTION DE L'APPAREIL.

L'appareil se compose d'un entonnoir métallique vertical dont la section circulaire a 0 m. 02 de diamètre à la base et 0 m. 15 de diamètre à une hauteur de 0 m. 15 au-dessus de cette base, hauteur à laquelle est placée une tôle perforée de 1.050 trous environ, de 0 m. 002 de diamètre par décimètre carré. L'entonnoir se prolonge par un ajutage cylindrique de 0 m. 02 de diamètre et de 0 m. 10 de hauteur.

Élévation.



L'appareil est supporté par un bâti en forme de trépied.

MODE D'OPÉRER.

On place tout d'abord la mesure de 1 litre de capacité (cylindre de 0 m. 10 de hauteur) à 0 m. 05 en contre-bas de l'extrémité inférieure de l'ajutage.

On verse ensuite le ciment dans l'entonnoir par petites masses de 300 à 400 grammes, que l'on force à passer à travers le tamis en y promenant une spatule en bois de 0 m. 04 de largeur.

On arrête le remplissage quand la base du cône qui s'est élevé peu à peu au-dessus de la mesure en atteint le bord supérieur. On enlève alors l'excès de ciment, en faisant glisser sur ce bord une lame bien droite tenue dans un plan vertical.

Pendant toute l'opération, on n'aura fait subir à la mesure aucune trépidation, ni aucun choc.

On adoptera comme poids du litre la moyenne des résultats obtenus dans cinq opérations successives.

SUR

L'APPLICATION DE LA LOUPE

AU CONTRÔLE DES CIMENTS.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. R. FERET.

En même temps que, dans la séance du 1er avril 1892, le Comité d'études de la Section B de la Commission des Méthodes d'essai des matériaux de construction rejetait l'emploi du microscope polarisant comme peu pratique et d'ailleurs donnant actuellement des renseignements insuffisants au point de vue spécial du contrôle des composés hydrauliques, il reconnaissait au contraire que l'examen de ces matériaux au moyen d'un appareil grossissant, microscope ordinaire ou loupe, pouvait dans certains cas donner d'utiles indications sur leur nature et leur qualité, et il chargeait l'auteur de la motion de s'entendre avec le Sous-Comité[1] pour présenter une note indiquant la marche à suivre dans ce genre de recherches et la portée des renseignements à en tirer.

Pour répondre à ce programme, le présent rapport commencera par énumérer les principales dispositions qu'il pourrait y avoir lieu de recommander pour ces essais, puis il relatera les caractères permettant de reconnaître les diverses matières qui se rencontrent le plus fréquemment dans les ciments, et enfin il essayera de dégager, sous forme de règles pratiques, les conclusions résultant de cet examen.

I. — DISPOSITIONS GÉNÉRALES.

Préparation de l'échantillon.—Le premier moyen qui s'offre à l'esprit, si l'on songe à examiner un ciment sous un appareil grossissant, consiste à opérer sur une pincée du produit tel qu'il est livré par le commerce. Mais on constate, si l'on s'y prend ainsi, que l'observation est rendue très difficile par la grande différence de grosseur des grains dont l'échantillon est composé,

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

et notamment par la présence de poussière impalpable qui empâte les grains de dimensions appréciables et empêche d'en percevoir nettement l'aspect. Dès lors on se trouve porté à augmenter le grossissement pour mieux distinguer chaque particule, et pourtant on a encore peine à y arriver, tant est grand le degré de finesse de la poussière. En tout cas l'observation ne peut guère se faire qu'avec un appareil délicat et coûteux, et il reste toujours difficile de différencier les grains.

Il n'en est plus de même si l'on a soin de débarrasser préalablement le ciment de sa fine poussière au moyen d'un tamis fin, par exemple du tamis dit de 4,900 mailles par centimètre carré. Il ne reste alors que des grains de même ordre de grosseur qu'il est facile de séparer les uns des autres par de petites secousses données à leur support et par suite de distinguer facilement. En même temps on n'a plus besoin d'un très fort grossissement, de sorte qu'on peut se contenter d'une bonne loupe.

Toutefois on devra se garder de conclure trop rapidement de l'homogénéité des gros grains à celle du ciment total ou inversement, car les diverses matières qui peuvent se rencontrer dans le ciment n'ont pas toutes la même dureté et ne doivent pas exister en mêmes proportions dans la fine poussière et dans le résidu du tamisage [1].

Grossissement. — Souvent le simple examen à l'œil nu du résidu de tamisage permet déjà de juger du degré d'homogénéité d'un ciment. C'est ainsi que, dans beaucoup d'usines, les fabricants vérifient après coup le triage des roches par l'aspect des morceaux de ciment sortant des concasseurs ou des déchets rejetés par les bluteries. De même, on peut reconnaître à l'œil nu au milieu des gros grains du ciment certaines matières telles que le gypse, dont la couleur ou l'éclat diffèrent notablement de ceux de ces grains.

Mais, surtout avec les ciments relativement homogènes ou de fine mouture, on apprécie mieux l'aspect d'ensemble du résidu de tamisage en l'examinant à travers une loupe de faible grossissement. Par exemple, l'emploi d'un grossissement de deux à trois diamètres permet d'embrasser dans le champ de la loupe une quantité assez considérable de matière pour que l'opinion de l'observateur ne se trouve pas faussée par la présence accidentelle de quelque grain isolé d'un aspect particulier.

Toutefois ce grossissement est trop faible pour permettre de différencier nettement tous les grains. Dans ce but il sera avantageux d'employer un grossissement de six à huit diamètres; mais alors on ne pourra généralement observer à la fois qu'un petit nombre de grains et l'on fera bien, si l'on veut s'affranchir de la cause d'erreurs qui vient d'être signalée, de répéter

[1] Le tableau ci-dessous donne les résultats d'analyses faites dans différents laboratoires, d'une part, sur la fine poussière, et d'autre part, sur les gros grains de divers échantillons de ciment.

A. MM. Chatoney et Rivot ..... } Analyses citées par M. Barreau (*Annales des Ponts et Chaussées*, 6e série, IV, p. 175 à 180, août 1882);
B. Auteur allemand ..... } Analyses citées par M. Barreau (*Annales des Ponts et Chaussées*, 6e série, IV, p. 175 à 180, août 1882);
C. Expériences de M. Barreau ..... } Analyses citées par M. Barreau (*Annales des Ponts et Chaussées*, 6e série, IV, p. 175 à 180, août 1882);
D. Ciment de grappiers (gros grains = 11 p. 100 du ciment entier). } Analyses faites en mai 1892 au laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-Mer.
E. Ciment portland, bon triage, très grosse mouture (gros grains = 43 p. 100 du ciment entier) ..... } Analyses faites en mai 1892 au laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-Mer.

	A.		B.		C.		D.		E.	
	GROS GRAINS.	FINE POUSSIÈRE	GROS GRAINS.	FINE POUSSIÈRE	GROS GRAINS.	FINE POUSSIÈRE	GROS GRAINS.	FINE POUSSIÈRE	GROS GRAINS.	FINE POUSSIÈRE
Silice	23,3	20,3	22,7	22,7	23,5	23,7	30,6	27,1	22,3	22,9
Alumine	8,0	6,5	6,5	4,5	9,7	8,8	4,5	4,3	8,1	6,8
Sesquioxyde de fer	4,5	3,5	4,3	4,3	4,3	2,2	1,8	1,0	2,6	2,2
Chaux	62,5	65,3	59,7	60,1	59,1	60,8	56,2	61,0	64,6	64,6
Magnésie	"	"	1,4	1,4	traces	traces	1,9	0,7	1,2	1,1
Acide sulfurique	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	0,6	0,6	0,5	0,7
Eau, acide carbonique, etc.	1,0	3,7	4,6	6,2	2,5	3,4	4,4	5,3	0,7	1,7
TOTAUX	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Bien que, dans ces exemples, les différences de composition chimique entre les gros grains et la fine poussière d'un même ciment soient généralement assez faibles, rien ne prouve qu'il doive en être toujours ainsi, et d'ailleurs des mélanges de même composition chimique peuvent, suivant la nature et le degré de cuisson de leurs composants, être de qualités très différentes.

Dans le même ordre d'idées, M. Candlot a montré qu'on pouvait reconnaître certaines falsifications du ciment en faisant séparément l'analyse des gros grains et de la fine poussière. (*Ciments et chaux hydrauliques*, p. 130, Baudry, 1891.)

l'examen plusieurs fois de suite sur des lots de matière pris en différents points de la provision préparée.

Un grossissement plus fort sera d'ailleurs inutile dans la plupart des cas, car avec celui-ci tous les grains restant sur le tamis de 4,900 mailles sont parfaitement nets et faciles à caractériser.

En résumé on peut conseiller d'observer les résidus de tamisage des ciments successivement avec deux grossissements, le premier de deux à trois diamètres pour l'examen d'ensemble du produit, le second de six à huit diamètres pour l'étude détaillée de ses grains.

On trouve dans le commerce des appareils dits de *dissection* munis de divers accessoires qui en rendent le maniement très commode, et qui s'appliquent parfaitement à l'examen des ciments. L'appareil grossissant consiste en un doublet porté par une tige à crémaillère et qu'on peut remplacer par un autre suivant le grossissement que l'on désire.

Fond.— La couleur du fond sur lequel on observe à la loupe un composé hydraulique peut avoir une certaine importance suivant la nature des grains qu'on se propose de reconnaître. Si l'on a affaire à un produit de couleur claire, tel qu'une chaux ou un ciment de laitier, il se pourra que les grains étrangers plus foncés se détachent mieux si l'on dispose la matière au-dessus d'un fond blanc ou gris clair. Au contraire les ciments portlands, les ciments naturels et les ciments rapides sont composés presque exclusivement de grains de couleur foncée qui, vus sur un fond blanc, ne présenteront entre eux que de faibles différences de coloration par suite d'un phénomène d'irradiation bien connu, tandis qu'on en distinguera très nettement les nuances en les examinant sur un fond noir.

Il sera donc avantageux dans la plupart des cas de placer le ciment sur un papier noir glacé ou sur une lame de verre disposée au-dessus d'un fond noir ou ne recevant par-dessous aucune lumière.

Différenciation des grains.— Ces précautions prises, la méthode consistera, ainsi qu'il a été dit plus haut, à examiner le résidu du tamisage d'abord à un faible grossissement, pour apprécier son degré d'homogénéité, puis avec un grossissement un peu plus fort, pour reconnaître la nature des divers grains qui le composent.

Les caractères immédiats qui permettront d'opérer la différenciation des grains seront leur couleur, leur transparence, leur éclat, leur forme et l'aspect de leur cassure.

Mais il sera bon de compléter cet examen en étudiant, toujours sous la loupe, l'influence exercée sur les grains douteux par certains agents mécaniques ou chimiques. Par exemple on pourra en éprouver la dureté avec la pointe d'un canif, essayer de les dissoudre dans une goutte d'eau ou de les attaquer par une goutte d'acide et, en cas d'action, voir s'il se produit un dégagement gazeux.

Dans certains cas particuliers, il pourra même être intéressant de transporter le grain sur la platine d'un microscope et de lui appliquer telle ou telle des méthodes d'analyse microchimique employées depuis quelques années dans les recherches minéralogiques [1]. Mais ce ne seront là que des exceptions et la plupart du temps les caractères ci-dessus mentionnés suffiront largement à l'examen qu'on se propose.

Il appartiendra d'ailleurs à chaque observateur de varier suivant son inspiration ses moyens d'investigation et d'en imaginer qui s'appliquent plus spécialement à la recherche de telle ou telle substance dont il soupçonnerait la présence, car il est impossible de prévoir toutes les matières étrangères que les fabricants pourraient avoir l'idée d'introduire dans leurs produits, soit pour en abaisser le prix de revient, soit dans le but de les améliorer ou de modifier certaines de leurs propriétés.

II. — CARACTÈRES DES PRINCIPALES SUBSTANCES POUVANT EXISTER DANS LES CIMENTS.

Roches pures plus oumoins cuites.— Si l'on prend au pied d'un four une roche de ciment parfaitement cuite, noire et compacte, et qu'après l'avoir pulvérisée à la finesse ordinaire du ciment, on élimine la poussière au moyen du tamis de 4.900 mailles, l'examen à la loupe montre que

[1] Pour la description de ces méthodes voir : Michel Lévy, *Les minéraux des roches*, chap. VIII (Baudry 1888).

la matière restante est composée de grains tous d'un aspect identique, noirs, opaques, anguleux, durs et à cassure mate et grenue. Mis dans une goutte d'eau, ces grains ne manifestent tout d'abord aucune attaque, puis, au bout de quelques minutes, on aperçoit autour d'eux dans le liquide qui les baigne une sorte d'auréole produite par un commencement de cristallisation des composés solubles que l'eau leur enlève. Ces mêmes grains colorent immédiatement l'acide chlorhydrique en jaune, mais n'arrivent que difficilement à s'y dissoudre entièrement.

Des roches moins cuites donneront des grains également opaques, mais de couleurs de moins en moins foncées, variant du brun au gris, en passant par le roux et quelquefois par des tons plus ou moins verdâtres.

Enfin les incuits produiront des grains gris ou jaunâtres s'écrasant facilement sous la pointe du canif et attaquables par les acides avec dégagement d'acide carbonique. Toutefois ce dernier caractère n'est pas absolu et peut se présenter même avec des ciments bien cuits, si la matière pulvérisée est restée depuis quelque temps au contact de l'air. Dans ce cas on peut souvent distinguer à la surface des grains de très petits points blancs de chaux plus ou moins carbonatée.

Ciments marchands. — Si, au lieu de ciments obtenus au laboratoire par l'écrasement de roches choisies bien homogènes, on considère maintenant le résidu du tamisage de ciments marchands, on constate qu'il présente un aspect très différent, même quand il provient de produits de première qualité triés avec soin.

La couleur de l'ensemble est moins foncée et il est facile de reconnaître, même à l'œil nu, que la matière est fort hétérogène. De pareils ciments contiennent toujours, en plus des grains opaques noirs, bruns ou verdâtres, un grand nombre de matières plus ou moins vitreuses de couleurs vertes, jaunes et blanches, sans compter d'autres corps étrangers, tels que du charbon et des grains de silex provenant des meules.

Il est en effet industriellement impossible d'obtenir un triage parfait des roches extraites des fours, roches dont chacune est souvent composée elle-même de parties fort différentes quant à leur aspect et à leur degré de cuisson, et d'ailleurs un pareil triage serait la plupart du temps superflu et toujours fort onéreux.

A mesure qu'on considère des ciments de cuisson moindre ou de triage plus négligé, la couleur de l'ensemble des gros grains tend à devenir de plus en plus claire et on constate à la loupe la présence d'un nombre croissant de grains gris et friables, en même temps que la proportion des grains noirs décroît.

Quant aux grains vitreux qui proviennent de l'écrasement des parties surcuites et des scories produites par la fusion partielle des parois des fours, leur nombre tendrait à la fois à décroître par suite du moindre degré de cuisson obtenu et à augmenter par suite du défaut de triage, de sorte qu'il ne constitue pas un indice bien certain. Pourtant on peut, quand ces grains se rencontrent en grande abondance, affirmer que le triage laisse à désirer.

Matières diverses. — Il n'est pas rare de trouver au pied des fours à ciment des roches qui présentent par places des colorations vives et imprévues, bleues, vertes, violâtres, rouges ou blanches; aussi ne devra-t-on pas s'étonner de retrouver dans les ciments moulus des grains de couleurs extrêmement variées. Presque toujours les matières dont il s'agit sont tendres et poreuses, ce qui permettra de reconnaître les grains qui en proviennent.

Le *charbon*, en grains noirs et brillants à cassure conchoïdale, est bien facile à reconnaître et se rencontre dans tous les échantillons.

Les débris de *silex* des meules se distinguent moins nettement de certains des grains peu cuits du ciment. Ce sont des morceaux gris, opaques et durs, à arêtes vives, et qui diffèrent des grains de ciment en ce qu'ils restent inattaqués au contact de l'eau et des acides.

Dans un ciment moulu au moyen d'un appareil à boulets, il m'est arrivé de rencontrer de nombreux morceaux de *fonte* dont les dimensions dépassaient souvent un centimètre. On trouve aussi souvent des morceaux de *fer* dans les ciments où l'on a introduit certains laitiers de hauts fourneaux.

Il n'est pas à craindre que des grains métalliques beaucoup plus petits passent inaperçus dans le ciment, car il serait toujours facile de les y retrouver sous la loupe grâce à leur éclat particulier et de les séparer avec la pointe préalablement aimantée d'un canif ou d'une aiguille. Il est d'ailleurs probable que, dans un cas comme dans l'autre, le métal, que sa ductilité empêche de s'émietter comme le ciment, ne se rencontre guère qu'en morceaux relativement volumineux. Tel était le cas de l'échantillon cité.

L'aspect des grains de *laitier* non granulé qu'on introduit quelquefois dans certains ciments varie suivant la nature du laitier dont ils proviennent. Le plus souvent ces grains sont compacts, d'un gris plus ou moins bleuâtre, à cassure nette et lisse. Certains laitiers donnent des grains vitreux et noirs.

Quant aux *laitiers granulés* employés à la fabrication des ciments dits « de laitier », ils sont tendres et laissent généralement peu de grains mal écrasés. Leurs débris ont l'aspect d'un verre incolore ou légèrement teinté de jaune ou de vert et se cassent assez facilement sous la pointe du canif.

Les *grappiers* résultant de l'extinction des chaux donnent des grains arrondis dont la couleur est généralement plus claire que celle des grains de ciment.

Les grains provenant de *scories* ou de *mâchefer* présentent généralement une cassure grenue et brillante et une contexture encore un peu caverneuse.

Le *gypse* mélangé en pierres aux roches de ciment avant mouture donne, malgré son peu de dureté, de gros grains blancs cristallins faciles à apercevoir à l'œil nu dans le résidu laissé par le ciment sur un tamis fin. On peut d'ailleurs s'assurer de leur nature en essayant sous la loupe leur dureté ou leur solubilité, ou encore, en cas de dissolution incomplète, à l'aide de réactions microchimiques simples opérées dans la goutte d'eau dont on les a mouillés.

La présence du *plâtre* introduit en poudre dans les ciments est plus difficile à reconnaître à la loupe à cause de l'exiguïté des grains produits par l'écrasement de cette matière.

Les analyses suivantes ont été faites sur deux ciments provenant de roches saupoudrées avant mouture d'environ 1 p. 100 de leur poids de plâtre en poudre.

		Proportion d'acide sulfurique p. 180 de matière.	
1er échantillon.	Gros grains retenus par le tamis de 4.900 mailles (33 p. 100 du ciment entier)	0,65	Soit pour le ciment entier : 1,10.
	Fine poussière passant au tamis de 4.900 mailles (67 p. 100 du ciment entier)	1,32	
2e échantillon.	Gros grains retenus par le tamis de 4.900 mailles (29 p. 100 du ciment entier)	0,72	Soit pour le ciment entier : 1,16.
	Fine poussière passant au tamis de 4.900 mailles (71 p. 100 du ciment entier)	1,34	

Comme le même ciment sans mélange de plâtre contient environ 0,70 p. 100 d'acide sulfurique, on voit que tout le plâtre est passé avec la fine poussière. Il sera donc facile de reconnaître le plâtre dans un ciment quelconque en dosant séparément l'acide sulfurique dans la partie fine et dans les gros grains séparés par tamisage.

Les diverses catégories de *pierres de carrière* et de *cailloux de ramassage* donnent des débris dont l'aspect et la couleur varient suivant leur nature. Les morceaux calcaires se distinguent facilement par le dégagement gazeux abondant qu'ils produisent au contact des acides. Quant aux grains siliceux, ils n'abandonnent rien à l'eau ni aux acides, ce qui permet de les distinguer du ciment.

Telles sont les matières qu'on est le plus exposé à rencontrer dans les ciments. Mais la liste des altérations possibles est loin d'être épuisée et chacun pourra, avec un peu d'exercice, reconnaître par des caractères analogues toute autre substance dont on suspecterait la présence dans un produit.

III. — CONCLUSIONS.

Il résulte de ce qui précède qu'on ne peut attendre d'un ciment marchand une homogénéité absolue. D'autre part, on n'aperçoit guère de moyen de mesurer avec une précision suffisante, par la méthode qui vient d'être décrite, la proportion de matières étrangères au ciment proprement dit, et d'ailleurs une pareille séparation exigerait qu'on sût exactement quels sont, parmi les grains de ciment plus ou moins cuits, ceux qu'on doit considérer comme bons et ceux dont au contraire on doit éviter la présence. On ne peut donc songer à mesurer quantitativement à l'aide de la loupe le degré de cuisson ou d'homogénéité d'un ciment. Tout au plus l'aspect d'ensemble des gros grains de l'échantillon étudié peut-il donner à un expérimentateur habitué à observer des produits de même nature que celui dont il s'agit une idée sommaire du soin apporté à sa fabrication.

Plus grands sont les services qu'on peut attendre de la loupe pour reconnaître la nature

d'un produit, car on vient de voir que les grains dominants des diverses catégories de composés hydrauliques présentent généralement des caractères fort différents. Toutefois cette recherche exige encore une certaine habitude de l'opérateur.

Mais la principale utilité des essais à la loupe est d'avertir celui qui les exécute de la possibilité de certaines falsifications du ciment révélées par la présenee de débris insolites.

A la vérité, en raison de la grande variété des grains que peuvent fournir les produits des fours exempts de tout mélange étranger, il sera souvent imprudent de tirer de l'examen par grossissement une conclusion ferme relativement à la pureté du produit étudié; mais cet examen fournira du moins une première indication des plus précieuses, à condition qu'on la complète ultérieurement par de nouveaux essais appropriés à la nature de l'altération soupçonnée.

Si, par exemple, les grains suspects sont peu abondants, on pourra en isoler quelques-uns sous la loupe, les transporter sous un microscope et les examiner par les méthodes d'analyse microchimique auxquelles il a été fait allusion plus haut. Si ces grains constituent une notable proportion du produit étudié, on pourra essayer de les séparer des autres par différence de densité au moyen de l'iodure de méthylène suivant le procédé indiqué par M. H. Le Chatelier dans la séance du 4 mars. De même il sera toujours intéressant de compléter l'étude à la loupe par l'analyse chimique du produit brut, ou mieux en faisant comparativement l'analyse des diverses catégories de grains en lesquelles on peut le séparer par tamisage.

Bref, l'examen à la loupe des ciments débarrassés de leur fine poussière peut être d'un grand secours pour le contrôle, à condition qu'on ne cherche pas à en tirer des indications plus précises que celles qu'il est susceptible de procurer. Aussi sera-t-il prudent de ne jamais considérer comme définitivement acquis les renseignements qu'il aura fournis, tant qu'ils n'auront pas été contrôlés par d'autres essais.

Dès lors les conclusions pourraient être libellées comme il suit et placées à la suite de celles relatives au tamisage.

« *Les observations à la loupe devront être faites sur la matière retenue par le tamis de 4.900 mailles par centimètre carré en opérant avec des grossissements successifs d'environ 3 diamètres pour l'examen d'ensemble et 8 pour l'examen de détail.*

Si l'examen révèle la présence de grains qu'on puisse soupçonner provenir de matières étrangères au ciment, on devra en vérifier la nature soit par l'analyse chimique complète ou partielle du produit brut ou fractionné, soit par tout autre moyen qu'on jugerait plus propre à la mettre en évidence. »

Boulogne, le 16 mai 1892.

R. FERET.

SUR

LA CONSISTANCE NORMALE

DES PÂTES DE CIMENT.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR MM. P. ALEXANDRE ET R. FERET.

La proportion d'eau qu'il est nécessaire d'incorporer à un même poids de divers ciments pour obtenir des pâtes de même consistance étant variable suivant la nature, la finesse et les conditions de conservation de chaque échantillon, on ne pourrait songer à obtenir des essais comparables en employant une même proportion d'eau pour tous les produits. Il est donc nécessaire de définir une *consistance normale* qui soit identique pour tous les ciments à étudier et puisse servir de base pour déterminer la proportion d'eau à employer avec chaque échantillon, soit qu'on fasse les essais avec la pâte amenée à cette consistance, soit que, dans certains cas, on juge préférable d'employer une autre proportion d'eau, fonction de la première.

De là résulte que cette détermination de la proportion d'eau correspondant à la consistance normale doit précéder un essai quelconque pour lequel il y a lieu de gâcher le ciment. Aussi avons-nous considéré que l'étude de la *consistance normale* devait faire l'objet d'un rapport spécial distinct de celui relatif aux essais de prise, qui rentrent également dans le programme que le Sous-Comité [1] nous a tracé.

I. MÉTHODES EN PRÉSENCE.

La discussion qui a eu lieu dans la troisième séance (1er avril 1892) du Comité d'études a porté sur deux méthodes permettant d'obtenir une pâte de consistance dite *normale*, les seules d'ailleurs qui, à notre connaissance, soient appliquées actuellement.

L'une, celle du cahier des charges de Boulogne et de Calais, comporte les prescriptions suivantes :

« La proportion d'eau à mélanger avec le ciment pur sera la même pour tous les essais simultanés d'un même échantillon; on déterminera, pour chaque échantillon, la proportion normale d'eau qui doit y être appliquée, par un essai préalable comportant chaque fois les opérations et tâtonnements ci-après décrits. La proportion normale ainsi trouvée ne sera valable que pour les essais à faire pendant la journée où elle a été déterminée.

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

Le mortier sera obtenu en prenant 900 grammes de ciment et versant d'un seul coup la quantité d'eau à employer. Le mélange et le gâchage seront faits à la truelle, sur une plaque de marbre, pendant cinq minutes comptées à partir du moment où l'eau aura été versée.

La quantité d'eau ajoutée sera considérée comme donnant la proportion normale si le mortier ainsi obtenu forme une pâte ferme, mais bien liée, brillante et plastique, satisfaisant aux conditions suivantes :

1° La consistance de la pâte ne doit pas changer sensiblement si le gâchage est prolongé pendant trois minutes au delà de la durée initiale de cinq minutes;

2° Une petite quantité de pâte étant prise avec la truelle, si on la laisse tomber sur le marbre d'une hauteur de 50 centimètres environ, elle doit se détacher de la truelle sans y laisser aucune partie adhérente, et, après sa chute, conserver à peu près sa forme sans qu'il se produise aucune crevasse;

3° Une petite quantité de pâte étant prise dans la main, il devra suffire de lui imprimer quelques légères secousses pour lui donner une forme arrondie et faire venir l'eau à la surface; elle ne devra, dans cette opération, ni s'aplatir complètement, ni s'attacher à la peau, et si on laisse tomber la boulette ainsi formée d'une hauteur de 50 centimètres, elle devra conserver, en s'affaissant légèrement, une forme arrondie, sans présenter aucune crevasse;

4° La proportion d'eau doit d'ailleurs être telle que le gâchage étant effectué avec une quantité d'eau moindre, la pâte soit sèche, peu liée, et se crevasse en tombant de la truelle ou de la main; elle doit être telle, d'autre part, qu'une faible augmentation de la quantité d'eau (de 1 à 2 p. 100 au plus du poids du ciment) suffise pour changer la nature de la pâte, la ramollir et lui donner une consistance boueuse caractérisée par l'adhérence à la truelle et une tendance à s'aplatir en s'attachant à la main, tendance qui ne permet pas de la mettre en boule en procédant comme on l'a dit ci-dessus.

Ce dernier changement de caractère, produit par le passage de la consistance plastique à la consistance boueuse, étant le plus nettement tranché, on fera d'abord le gâchage avec une quantité d'eau assez faible pour donner une pâte trop sèche. Puis on recommencera l'opération le nombre de fois nécessaire, en opérant chaque fois sur une nouvelle quantité de 900 grammes de ciment et en augmentant progressivement chaque fois de 20 centimètres cubes la quantité d'eau jusqu'à ce que, une opération ayant donné, avec une certaine proportion d'eau, une pâte de consistance ferme et plastique, l'opération suivante, avec 20 centimètres cubes d'eau de plus, donne une pâte boueuse. On fera alors un dernier essai avec 10 centimètres cubes d'eau de moins que dans l'opération qui aura donné la pâte boueuse.

On adoptera comme proportion normale la plus forte proportion d'eau essayée qui aura encore donné lieu à une pâte plastique et non boueuse satisfaisant aux conditions 1°, 2°, 3° et 4° ci-dessus énoncées. »

La seconde méthode a été imaginée par M. le professeur Tetmajer, de Zurich, et adoptée par la réunion des fabricants allemands, autrichiens, suisses et russes dans les conférences tenues à Munich, Dresde et Berlin en 1884, 1886 et 1890. Les *Conclusions* de ces conférences la définissent comme il suit

« Les constatations seront faites sur une pâte de consistance normale. Pour déterminer cette consistance, on se servira du mesureur de consistance qui sera adjoint à l'aiguille normale de prise. Cet instrument se compose : 1° d'une tige de 1 centimètre de diamètre et d'un poids de 300 grammes et 2° d'une boîte cylindrique de 8 centimètres de diamètre et 4 centimètres de hauteur, faite en un corps imperméable en même temps que mauvais conducteur de la chaleur (de préférence en ébonite). Pour déterminer la consistance normale, on mélange 400 grammes du produit à essayer avec une certaine quantité d'eau, de manière à former une pâte ferme que l'on travaille à l'aide d'une spatule en forme de cuiller, pendant trois minutes exactement pour les produits hydrauliques à prise lente, et pendant une minute pour les produits hydrauliques à prise rapide. On met la pâte dans la boîte sans la tasser, on la lisse à la surface supérieure et on y applique avec précaution le mesureur de consistance. La consistance est considérée comme normale quand la tige de l'instrument s'arrête à une hauteur de 6 millimètres au-dessus du fond de la boîte. »

A priori, même en faisant abstraction de la différence de longueur des deux énoncés, la seconde méthode paraît plus précise que la première. Celle-ci repose en effet sur un ensemble de caractères laissés à l'appréciation de l'opérateur et dont la multiplicité même peut faire suspecter la précision. L'autre, au contraire, fixe un chiffre à obtenir, critérium net et absolu.

Mais la précision que paraît comporter la seconde méthode est-elle bien réelle, et une même consistance de pâte correspond-elle toujours à un même enfoncement de la tige? En un

mot, l'appareil Tetmajer permet-il, mieux que les conditions de Boulogne, toutes vagues qu'elles puissent paraître, de définir exactement la consistance normale?

Il a été fait à Boulogne, au laboratoire du service maritime du Pas-de-Calais, diverses expériences en vue d'élucider cette question. Toutefois nous avons, dans leur exécution, apporté aux dispositions prescrites par les textes cités ci-dessus certaines légères modifications jugées nécessaires par le Comité d'études de la Section B. En particulier, le Comité ayant reconnu que, pour être effectués dans des conditions identiques pour les divers genres d'essais (détermination de la consistance normale, essais de prise, essais d'invariabilité de volume, gâchage d'éprouvettes de ciment pur pour épreuves de résistance.....), les gâchages devaient toujours porter sur un même poids de 1 kilogramme de ciment malaxé pendant une durée de 5 minutes, c'est ce poids et cette durée de gâchage que nous avons adoptés.

II. EXPÉRIENCES.

Une première série d'essais a eu pour but d'étudier spécialement la méthode de Boulogne en recherchant si ses indications étaient susceptibles de caractériser nettement les consistances correspondant à des proportions d'eau différentes et d'être également interprétées par divers appréciateurs. A cet effet, un même opérateur a gâché avec des proportions d'eau variables une double série de pâtes de ciment en présence de trois conducteurs des Ponts et Chaussées dont chacun, après avoir examiné chaque pâte sans connaître la proportion d'eau correspondante, ni l'appréciation de ses collègues, a noté ses impressions touchant l'observation des diverses conditions du cahier des charges.

Le tableau I relate les résultats obtenus.

TABLEAU I.

Appréciations de trois observateurs mis en présence d'une même pâte.

CIMENT.	EAU.	OBSERVATEUR.	ASPECT GÉNÉRAL DE LA PÂTE après 5 minutes de gâchage.	VARIATION DE CONSISTANCE après nouveau gâchage pendant 3 minutes.	ESSAI À LA TRUELLE. (Adhérence, déformation en tombant de 0 m. 50 de hauteur).	ESSAI À LA MAIN. (Adhérence, déformation de la boulette en tombant de 0 m. 50 de hauteur).	DOSAGE à adopter pour normal.
Portland Y.	21 p. 100 eau de mer.	A..	Consistance ferme.	S'est ramollie très peu.	Adhère très légèrement; se fendille légèrement.	Adhère légèrement; se fendille légèrement.	
		B..	Consistance ferme.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas; se fendille.	N'adhère pas; se fendille légèrement.	
		C..	Consistance assez ferme.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas; —?—	N'adhère pas; se fendille.	
	22 p. 100 eau de mer.	A..	Bonne consistance.	S'est ramollie très légèrement.	N'adhère pas; ne se fendille pas.	N'adhère pas; ne se fendille pas.	Bon.
		B..	Consistance trop sèche.	S'est ramollie légèrement.	— ? —; se fendille.	— ? —; se fendille.	
		C..	Consistance grenue.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas; se fendille.	N'adhère pas; se fendille.	
	23 p. 100 eau de mer.	A..	Bonne consistance.	S'est ramollie.	N'adhère pas; ne se fendille pas.	N'adhère pas; ne se fendille pas.	
		B..	Bonne consistance.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas; —?—	N'adhère pas; ne se fendille pas.	
		C..	Consistance ferme.	S'est ramollie légèrement.	N'adhère pas; ne se fendille pas.	N'adhère pas; ne se fendille pas.	
	24 p. 100 eau de mer.	A..	Consistance assez bonne.	S'est ramollie assez notablement.	Adhère légèrement; se fendille un peu	Adhère légèrement; ne se fendille pas.	
		B..	Bonne consistance.	S'est ramollie légèrement.	N'adhère pas; —?—	N'adhère pas; ne se fendille pas.	Bon.
		C..	Bonne consistance.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas; —?—	N'adhère pas; ne se fendille pas.	Bon.
	25 p. 100 eau de mer.	A..	Consistance un peu molle.	S'est ramollie.	Adhère; ne se fendille pas.	Adhère un peu; ne se fendille pas.	
		B..	Consistance un peu boueuse.	S'est ramollie beaucoup.	Adhère; — ? —.	Adhère; — ? —.	
		C..	Consistance molle.	S'est ramollie légèrement.	Adhère un peu; se fendille un peu.	Adhère; ne se fendille pas.	

NOTA. — ? indique une appréciation qui manque.

CIMENT.	EAU.	OBSERVATEUR.	ASPECT GÉNÉRAL DE LA PÂTE après 5 minutes de gâchage.	VARIATION DE CONSISTANCE après nouveau gâchage pendant 3 minutes.	ESSAI À LA TRUELLE. (Adhérence, déformation en tombant de 0 m. 50 de hauteur).	ESSAI À LA MAIN. (Adhérence, déformation de la boulette en tombant de 0 m. 50 de hauteur).	DOSAGE à adopter pour normal.
Portland Z.	25 p. 100 eau douce.	A. .	Bonne consistance.	S'est ramollie légèrement.	— ? — ; se fendille un peu.	N'adhère pas ; se fendille un peu.	
		B. .	Consistance trop sèche.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas ; — ? —	— ? — ; se fendille beaucoup.	
		C. .	Consistance ferme.	Ne s'est pas ramollie.	— ? — ; se fendille un peu.	— ? — ; se fendille un peu.	
	26 p. 100 eau douce.	A. .	Bonne consistance.	S'est ramollie très légèrement.	N'adhère pas ; ne se fendille pas.	N'adhère pas ; ne se fendille pas.	Bon.
		B. .	Bonne consistance.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas ; — ? —	— ? — ; se fendille.	
		C. .	Bonne consistance.	S'est raffermie un peu.	Adhère un peu ; se fendille un peu.	— ? — ; se fendille un peu.	
	27 p. 100 eau douce.	A. .	Consistance assez bonne.	S'est ramollie légèrement.	Adhère légèrement ; se fendille légèrement.	Adhère légèrement ; se fendille légèrement.	
		B. .	Bonne consistance.	S'est ramollie légèrement.	N'adhère pas ; — ? —	— ? — ; se fendille légèrement.	
		C. .	Consistance un peu molle.	S'est ramollie légèrement.	Adhère légèrement ; se fendille légèrement.	Adhère légèrement ; se fendille.	
	28 p. 100 eau douce.	A. .	Consistance un peu molle.	S'est ramollie légèrement.	Adhère légèrement ; ne se fendille pas.	Adhère très légèrement ; ne se fendille pas.	
		B. .	Bonne consistance.	S'est ramollie légèrement.	— ? — ; ne se fendille pas.	Adhère légèrement ; ne se fendille pas.	Bon.
		C. .	Bonne consistance.	Ne s'est pas ramollie.	N'adhère pas ; ne se fendille pas.	N'adhère pas ; se fendille un peu.	Bon.
	29 p. 100 eau douce.	A. .	Consistance un peu molle.	S'est ramollie légèrement.	Adhère ; ne se fendille pas.	Adhère assez fortement ; ne se fendille pas.	
		B. .	Consistance molle et boueuse.	Ne s'est pas ramollie.	Adhère ; — ? —.	Adhère ; — ? —.	
		C. .	Consistance légèrement molle.	Ne s'est pas ramollie.	Adhère très légèrement ; ne se fendille pas.	Adhère très légèrement ; se fendille un peu.	

NOTA.— ? indique une appréciation qui manque.

Il en ressort que :

1° Pour un même appréciateur et un même caractère, des pâtes différentes conduisent parfois à des conclusions contraires à ce qu'elles devraient être (par exemple : cas où, de deux pâtes gâchées avec des proportions d'eau différentes, la plus molle a paru présenter des crevasses en tombant alors que la plus sèche n'en avait pas manifesté) ;

2° Pour un même appréciateur, telle ou telle des conditions peut n'être satisfaite par aucune pâte de la série ;

3° Divers observateurs apprécient différemment un même caractère d'une même pâte.

Une seconde série d'essais a été faite sur un plus grand nombre d'échantillons, en vue d'étudier le procédé Tetmajer. Un même expérimentateur a opéré, pour chaque échantillon, sur autant de pesées de 1 kilogramme qu'il y a eu d'essais à faire, en ajoutant chaque fois toute l'eau d'un seul coup et gâchant pendant cinq minutes. Après avoir examiné comment la pâte obtenue répondait aux principales conditions de Boulogne, il a introduit cette pâte dans deux boîtes tronconiques à fond bien plat de 0 m. 08 de diamètre à la base, 0 m. 09 à l'ouverture et 0 m. 040 de hauteur, au centre desquelles il a appliqué successivement la sonde Tetmajer. Dans l'une des boîtes, il a fait descendre la sonde en la retenant constamment avec la main, selon l'usage adopté couramment pour les essais de prise. Dans la seconde, il a amené l'extrémité inférieure de la sonde au contact de la surface libre de la pâte, puis il a abandonné celle-ci brusquement à elle-même jusqu'à ce qu'elle cessât de s'enfoncer. Ce double essai a eu pour but de comparer les résultats obtenus suivant le mode de procéder pour l'enfoncement de la sonde et de voir s'il serait nécessaire de le préciser, au cas où on adopterait la méthode Tetmajer.

Pour varier autant que possible les conditions des essais, nous avons opéré sur des ciments de finesses différentes gâchées à l'eau douce ou à l'eau de mer. Nous avons même, bien que les essais des chaux et des ciments de laitier ne rentrent pas pour le moment dans notre programme, examiné quelques échantillons de ces matières en prévision de leur étude ultérieure.

Les résultats trouvés sont relatés par le tableau II.

TABLEAU II.

DÉSIGNATION DE L'ÉCHANTILLON.	NATURE DU PRODUIT.	RÉSIDU P. 100 SUR LE TAMIS DE 4.900 MAILLES.	NATURE DE L'EAU EMPLOYÉE POUR LE GÂCHAGE.	VOLUME D'EAU EMPLOYÉ POUR LE GÂCHAGE D'UN KG. DE MATIÈRE.	PÂTE OBTENUE APRÈS GÂCHAGE DE 5 MINUTES. PRINCIPAUX CARACTÈRES DU CAHIER DES CHARGES DE BOULOGNE ET DE CALAIS.	ÉPAISSEUR NON TRAVERSÉE PAR LA SONDE TETMAJER. RETENUE.	ÉPAISSEUR NON TRAVERSÉE PAR LA SONDE TETMAJER. EN CHUTE LIBRE.
				cm³		mm.	mm.
A.	Ciment portland.	29	Eau douce.	230	Consistance un peu sèche. La boulette se forme, mais se crevasse en tombant	16	15
				235	Consistance un peu sèche. La boulette se forme, mais se crevasse en tombant	12	13,5
				240	Consistance encore un peu ferme. La boulette se forme, mais se crevasse en tombant	8,5	10
				245	Consistance plastique, quoique peut-être un peu ferme	7	6
				250	Bonne consistance plastique. Se crevasse encore un peu en tombant	6,5	6,5
				260	Bonne consistance plastique, quoique peut-être un peu molle	5	2
				270	Consistance molle. La pâte colle à la truelle	4,5	1
				280	Consistance molle. La pâte colle à la truelle	4	1
				290	Pâte presque liquide	4	0,75
				241	.....	.....	9
				249	.....	.....	8
				253	.....	.....	5
B.	Ciment portland.	29,5	Eau douce.	240	Pâte trop sèche	17	18
				250	Pâte sèche. Se crevasse en tombant	9	11
				260	Consistance bien plastique. Se crevasse encore en tombant	6,5	6,5
				270	Consistance bien plastique (peut-être un peu molle). Se crevasse encore	5,5	3
				280	Pâte un peu molle. Se crevasse encore un peu. Commence à coller à la truelle	4,5	1,5
				290	Pâte très molle. Ne se crevasse plus. Colle à la truelle	4	2
				251	.....	.....	10
				261	.....	.....	6
C.	Ciment portland.	24	Eau de mer.	250	Ferme. Fait difficilement la boule. Se crevasse légèrement en tombant	15	15
				260	Encore un peu ferme. Fait bien la boule. Se crevasse encore	8,5	8
				270	Bonne consistance plastique. Se crevasse encore	6,5	6
				280	Consistance plastique un peu molle. Se crevasse encore un peu	5	2
				290	Pâte molle. Colle à la main et à la truelle	3	0,5
				300	Pâte très molle. Colle à la main et à la truelle	3	0,5
D.	Ciment portland.	34	Eau de mer.	220	Un peu ferme. Fait bien la boule. Se crevasse en tombant	8,5	
				230	Bonne consistance plastique. Se crevasse encore	6	
				240	Consistance un peu molle. Ne colle pas à la truelle.	4,5	
				250	Très molle. Colle à la main et à la truelle	3,5	

DÉSIGNATION DE L'ÉCHANTILLON.	NATURE DU PRODUIT.	RÉSIDU P. 100 SUR LE TAMIS DE 4,900 MAILLES.	NATURE DE L'EAU EMPLOYÉE POUR LE GÂCHAGE.	VOLUME D'EAU EMPLOYÉ POUR LE GÂCHAGE D'UN KG. DE MATIÈRE.	PÂTE OBTENUE APRÈS GÂCHAGE DE 5 MINUTES. PRINCIPAUX CARACTÈRES DU CAHIER DES CHARGES DE BOULOGNE ET DE CALAIS.	ÉPAISSEUR NON TRAVERSÉE PAR LA SONDE TETMAJER. RETENUE.	ÉPAISSEUR NON TRAVERSÉE PAR LA SONDE TETMAJER. EN CHUTE LIBRE.
				cm³		mm.	mm.
E.	Ciment portland fabriqué spécialement de grosse mouture.	43	Eau douce.	170	Pâte non liée beaucoup trop sèche	25	26,5
				180	Consistance sèche. Se crevasse en tombant	16	16
				190	Un peu ferme. Fait bien la boule. Se crevasse encore	9	9,5
				195	Bonne consistance plastique. Se crevasse encore en tombant	6	6
				200	Bonne consistance plastique. Se crevasse encore en tombant	5,5	3
				210	Consistance molle. Colle à la main et à la truelle. Se fendille encore un peu en tombant	3	1,5
				220	Très molle	3	0,5
F.	Ciment portland débarrassé par tamisage d'une partie de ses gros grains.	17	Eau douce.	250	Ferme. Fait bien la boule. Se crevasse un peu en tombant	9	9
				260	Peut-être un peu ferme. Fait bien la boule. Se crevasse un peu en tombant	6	6
				270	Bonne consistance plastique. Fait bien la boule. Se crevasse un peu en tombant	4	5
				280	Consistance molle. Colle à la truelle	3	5
				290	Consistance molle. Colle à la truelle	3	2
				260	.....	5,5	6
				260	.....	.....	5
				268	.....	.....	5,5
G.	Ciment de grappiers.	11	Eau douce.	300	Consistance trop sèche. La boulette se forme bien et ne se crevasse pas en tombant	11,5	10,5
				310	Un peu ferme. La boulette se forme bien et ne se crevasse pas en tombant	9,5	9,5
				320	Un peu ferme. La boulette se forme bien et ne se crevasse pas en tombant	7	7,5
				330	Bonne consistance plastique	6	5,5
				340	Consistance un peu molle. Colle un peu à la truelle.	4,5	3
				350	Molle. Colle à la truelle	3	2
				315	.....	.....	6,5
				325	.....	.....	6.5
H.	Ciment de laitier.	27	Eau douce.	344	Trop ferme. Difficile à lier	12	12
				350	Bonne consistance plastique. Ne se crevasse pas en tombant	7,5	5
				360	Bonne consistance plastique. Ne se crevasse pas en tombant	6	5
				370	Consistance plastique peut-être un peu molle. Ne colle pas à la truelle	5,5	2,5
				380	Consistance molle. Colle à la truelle	4	0,5
				390	Consistance molle. Colle à la truelle	4	0,5
				400	Consistance très molle. Colle à la truelle	4	0,5
				351	.....	.....	8
				363	.....	.....	5
I.	Chaux hydraulique.	"	Eau douce.	420	Ferme. Fait difficilement la boule. Ne se crevasse pas en tombant	20	20
				430	Un peu ferme. Fait bien la boule. Ne se crevasse pas en tombant	15	15
				440	Bonne consistance plastique. Ne se crevasse pas en tombant	6	3
				440	Bonne consistance plastique. Ne se crevasse pas en tombant	9,5	2
				450	Bonne consistance plastique. Ne se crevasse pas en tombant,	7	2
				460	Consistance un peu molle	6	0,5
				480	Consistance molle. Colle à la truelle	4	0
				500	Consistance molle. Colle à la truelle	3	0

III. OBSERVATIONS CONCERNANT LA MÉTHODE DE BOULOGNE.

Si l'on passe successivement en revue les observations fournies par les tableaux I et II relativement aux divers caractères du cahier des charges de Boulogne, on est conduit aux remarques suivantes :

Aspect général de la pâte.—La première colonne du tableau I montre que, à moins que la pâte ne soit franchement trop sèche ou trop molle, c'est-à-dire dans la limite d'environ 3 p. 100 d'eau, sa consistance peut être appréciée différemment par divers opérateurs.

En général, un observateur exercé n'a pas de peine à reconnaître, entre les diverses consistances correspondant aux proportions d'eau comprises dans ces limites, celle qui se rapproche le plus d'une consistance type qu'il a l'habitude de considérer comme la meilleure. Reste à savoir si les autres caractères du cahier des charges sont assez précis pour permettre à des opérateurs non habitués, et travaillant isolément, d'adopter comme la meilleure une même consistance.

1er caractère. Variation de consistance après nouveau gâchage pendant trois minutes.—Pour ce caractère, les observations du tableau I sont encore souvent contradictoires. On constate d'ailleurs que, pour bien des ciments, il y a ramollissement, quelle que soit la proportion d'eau employée au gâchage. C'est ce que montre le tableau suivant dans lequel on a pris comme criterium de la consistance l'enfoncement de l'appareil Tetmajer, dont nous reconnaîtrons plus loin la sensibilité.

DÉSIGNATION DES CIMENTS.	VOLUME D'EAU employé pour gâcher 1 kg. de ciment.	CONSISTANCE.	ÉPAISSEURS DE PÂTE non traversées par la sonde descendue sans vitesse acquise. Ciment gâché à l'eau de mer pendant 5'.	Ciment gâché à l'eau de mer pendant 5'+3'.	Ciment gâché à l'eau douce pendant 5'.	Ciment gâché à l'eau douce pendant 5'+3'.
	cm³.		mm.	mm.	mm.	mm.
Même ciment portland	220	Consistances trop fermes	19	11	19	12,5
	230		10,5	8	8,5	7
	240	Bonne consistance	7	6	6,5	6
	250	Consistance un peu molle	5,5	4,5	5	4,5
Ciment portland un peu éventé	230	Un peu trop ferme	9,5	7	"	"
	240	Bonne consistance	6	5	6	5
Divers ciments portlands	265	Bonnes consistances	6,5	5	6	5
	240		6,5	5,5	6	6
	245		5,5	4	"	"
	240		5,5	5,5	"	"
	250		7	6,5	6,5	5
Ciment de grappiers	330	Bonne consistance	6	5,5	6,5	5

2e caractère. Essai à la truelle.—Les tableaux I et II montrent que, presque toujours, avec les ciments portlands, surtout s'ils sont de grosse mouture, on constate des fendillements dans la pâte tombée sur le marbre, non seulement pour les consistances trop sèches, mais également pour les bonnes consistances plastiques et aussi pour certaines consistances déjà trop molles.

On peut même souvent faire crevasser ou non une même pâte suivant la quantité que l'on prend sur la truelle et la manière dont on l'en fait se détacher, ce qui explique les différences d'appréciation signalées au tableau I.

Enfin, il est bon de noter que les ciments de grappiers, de laitier et les chaux, non visés, il

est vrai, par les règles de Boulogne, ne donnent pas de fissures, même quand la pâte est trop ferme.

3e Caractère. Essai à la main. — L'aspect de la boulette ne paraît guère plus caractéristique que la production des crevasses. L'adhérence à la main ou à la truelle ne se produit qu'avec des pâtes franchement trop molles. Elle pourrait servir à établir une limite maximum de la quantité d'eau à employer. Mais la transition est difficile à apprécier et souvent on peut, comme pour les fissures, obtenir ou non l'adhérence suivant la manière dont on opère.

4e Caractère. Aspect des pâtes gâchées avec des proportions d'eau différentes. — Ce caractère est subordonné à l'appréciation des précédents. D'après les expériences citées, il paraît susceptible d'indiquer la proportion avec une approximation d'environ 2 p. 100.

En résumé, la méthode de Boulogne a l'inconvénient d'être assez compliquée en ce qu'elle exige la réalisation simultanée d'un ensemble de conditions d'ailleurs assez vagues. La précision qu'on lui attribue quelquefois résulte de ce qu'un même opérateur arrive à obtenir sans difficulté la consistance qu'il est accoutumé à considérer comme normale; mais cette consistance peut varier un peu d'un opérateur à l'autre si chacun d'eux n'a pas été guidé au début de son apprentissage par un agent connaissant, pour l'avoir appréciée de ses propres yeux, la consistance type adoptée dans les autres laboratoires.

En outre, elle ne s'applique qu'aux pâtes de ciment portland et non à celles qu'on peut faire avec les autres composés tels que les chaux ou les ciments de laitier.

IV. OBSERVATIONS CONCERNANT LA MÉTHODE TETMAJER.

Examinons maintenant les résultats fournis par la méthode Tetmajer.

A cet effet, construisons des diagrammes dans lesquels, les quantités d'eau étant prises pour abscisses, on porte en ordonnées les épaisseurs de pâte non traversées par la sonde cylindrique d'un centimètre de diamètre, chargée de 300 grammes.

Les figures ci-contre montrent immédiatement que, tandis que le procédé qui consiste à guider la sonde sans lui laisser acquérir de vitesse donne presque toujours des points régulièrement répartis sur une courbe continue, celui qui consiste à descendre la sonde jusqu'à la surface de la pâte et à l'abondonner ensuite à elle-même conduit le plus souvent au contraire à des résultats irréguliers. Aussi, sans nous attarder à discuter les causes possibles de cette différence prencontre éventuelle de grains qui modifient la vitesse de la sonde, frottement inégal de la sonde sur son support, etc.), abandonnerons-nous immédiatement le second procédé, pour ne plus nous occuper que du premier.

Sauf pour un seul essai (fait avec la chaux I et corrigé dans une seconde épreuve), les points obtenus en guidant la sonde dans sa descente ne se sont jamais écartés de plus de 1 millimètre, écart d'ailleurs lui-même assez rare, de la courbe moyenne qui les joint. On voit donc déjà que le procédé comporte une certaine précision.

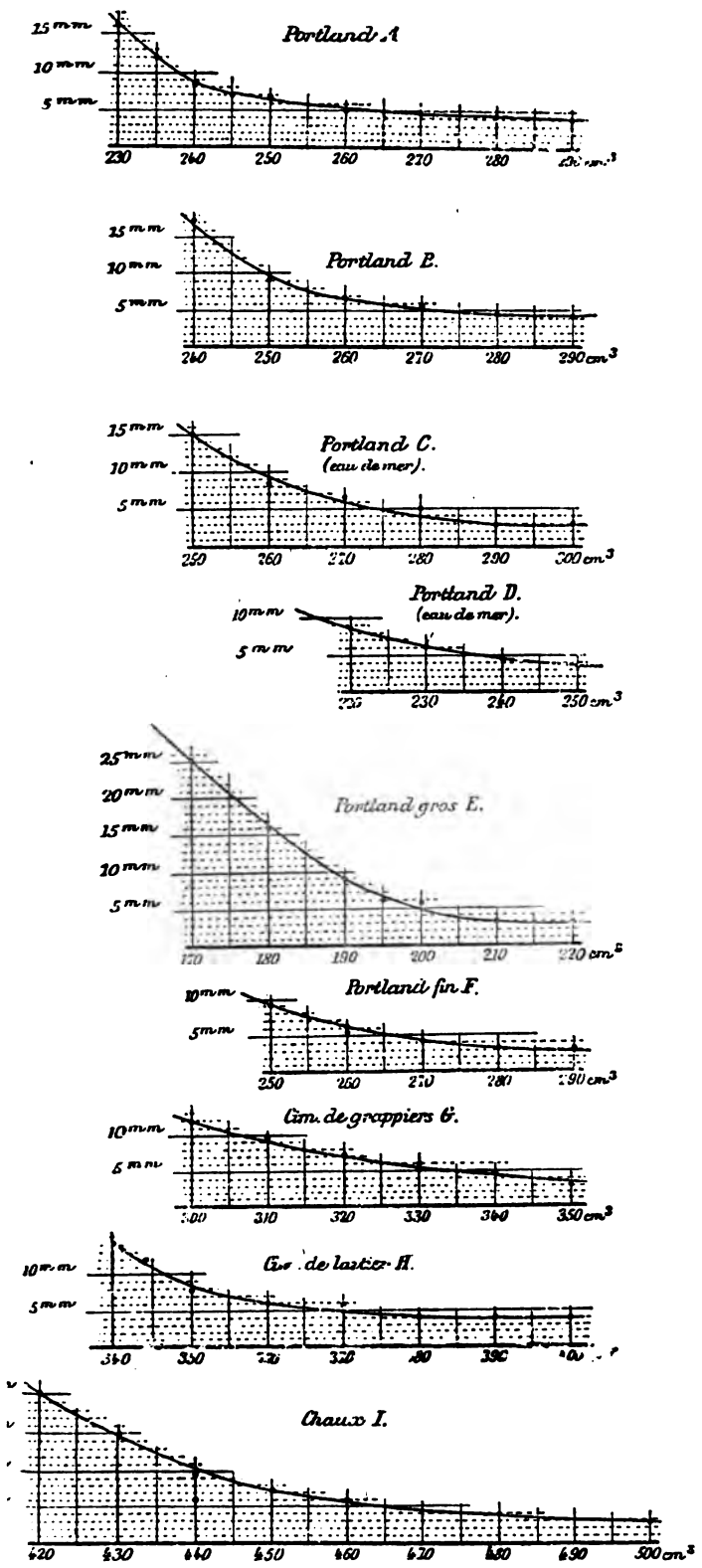
En ce qui concerne sa sensibilité, on constate que, pour les consistances plastiques entre lesquelles on peut hésiter, l'épaisseur non traversée varie d'environ 1 à 2 millimètres par 10 centimètres cubes d'eau. L'erreur possible sur la quantité d'eau nécessaire pour gâcher 1 kilogramme de ciment est donc de moins de 10 centimètres cubes, soit de moins de 1 p. 100, sensibilité très suffisante et en tout cas plus grande que celle correspondant à la méthode de Boulogne.

Enfin, pour les pâtes voisines de la bonne consistance, l'erreur personnelle à craindre est insignifiante, ainsi qu'il résulte de l'expérience ci-dessous, dans laquelle cinq expérimentateurs, opérant sur trois mêmes pâtes, ont procédé, chacun à sa manière, au remplissage de la boîte, à la descente lente de la sonde et à la lecture de l'enfoncement.

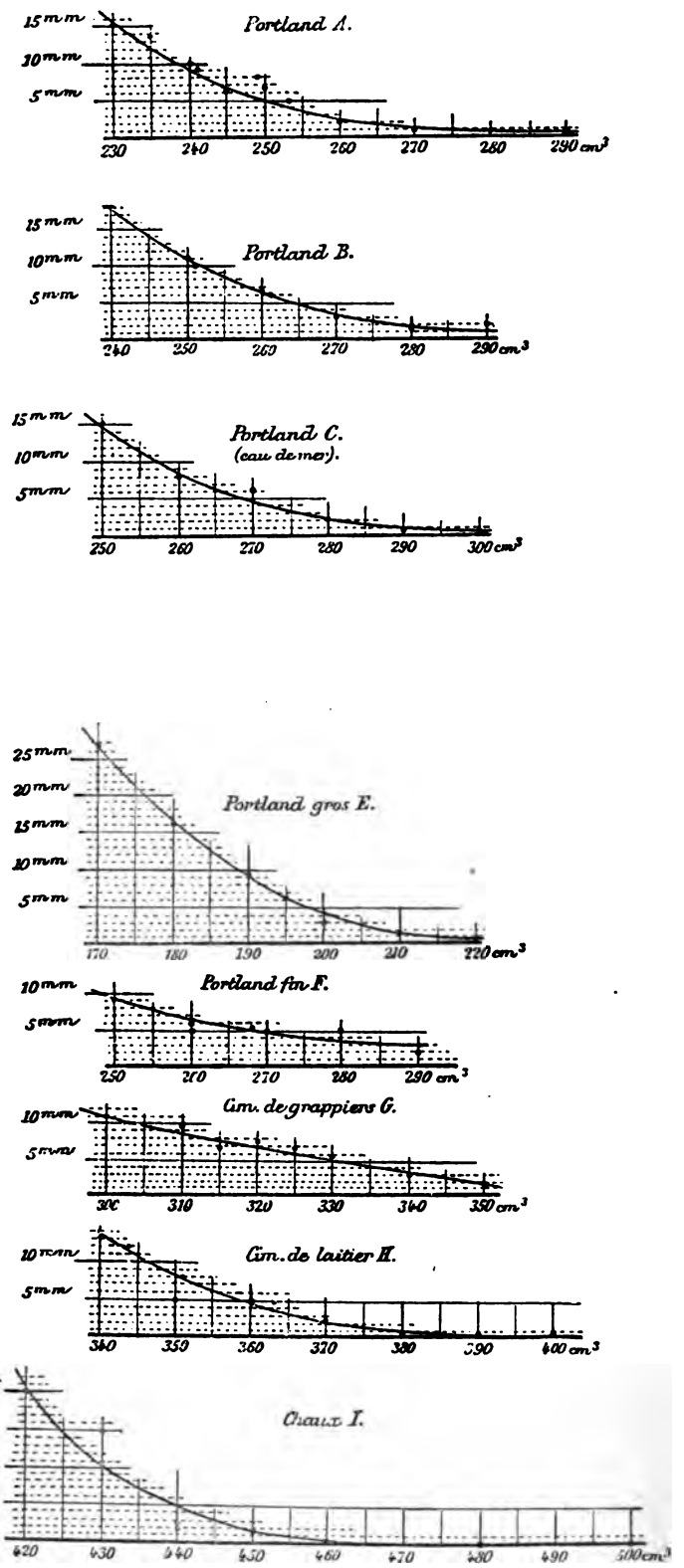
PROPORTIONS D'EAU.	CONSISTANCES.	ÉPAISSEURS NON TRAVERSÉES TROUVÉES PAR LES CINQ EXPÉRIMENTATEURS.				
		mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
23 p. 100.	Ferme	11 1/2	14	20	12	13
25 p. 100.	Bonne (un peu molle)	5	5 1/2	5 1/2	5 1/2	5 1/2
27 p. 100.	Molle	3 1/2	4	4	4	4

ESSAI DE L'APPAREIL TETMAJER.

Sonde retenue dans sa descente.



Sonde descendant librement.



Reste à voir s'il existe une épaisseur non traversée par la sonde, qui corresponde, pour tous les échantillons, à une pâte de consistance plastique convenable pour l'exécution des essais.

Le tableau ci-dessous montre qu'il en est ainsi, et que cette épaisseur est justement celle adoptée par la règle suisse, soit 6 millimètres. On remarque d'ailleurs que le critérium s'applique également bien à tous les produits étudiés, quelle qu'en soit la nature.

DÉSIGNATION DE L'ÉCHANTILLON.	A.	B.	C	D.	E.	F.	G.	H.	I.
Volumes d'eau limites correspondant à peu près aux conditions de Boulogne, selon l'opérateur ayant fait les essais du tableau II.	245 à 260 cm³.	255 à 270 cm³.	265 à 275 cm³.	225 à 235 cm³.	192 à 205 cm³.	260 à 275 cm³.	320 à 340 cm³.	350 à 370 cm³.	440 à 455 cm³.
Épaisseurs non traversées correspondantes (d'après les courbes).	6 à 5 mm.	8 à 5 mm.	7,5 à 5 mm.	7,5 à 5 mm.	8 à 4 mm.	6 à 3 mm. 5.	7 à 4 mm. 5.	7 à 5 mm.	19 à 6 mm.
Volumes d'eau correspondant à l'épaisseur de 6 mm. (d'après les courbes).....	253 cm³.	264 cm³.	270 cm³.	230 cm³.	197 cm³.	261 cm³.	325 cm³.	361 cm³.	457 cm³.

Il nous paraît inutile d'insister plus longuement sur les avantages de la méthode qui consiste à mesurer l'épaisseur de pâte non traversée par une tige cylindrique de poids et de diamètre déterminés. L'identité de cette méthode avec celle que l'on emploie couramment pour les essais de prise, au point que le même appareil peut servir pour les deux genres d'essais, sa simplicité, sa sensibilité, l'unité de la condition qu'elle impose, et surtout le caractère absolu des indications qu'elle fournit, doivent, à notre avis, lui faire donner la préférence sur celle du cahier des charges de Boulogne et de Calais.

Nous allons passer en revue les différents détails d'exécution.

V. ÉTUDE DES CONDITIONS D'EMPLOI DE LA SONDE DE CONSISTANCE.

POIDS DE MATIÈRE.

Il est entendu que le poids de matière à employer doit être de 1 kilogramme pour chaque gâchée. Aux avantages qui ont fait adopter ce poids d'une manière uniforme pour tous les genres d'essais s'ajoute, dans le cas particulier qui nous occupe, que la quantité de pâte obtenue permet largement d'emplir deux boîtes et de vérifier sur la seconde l'indication fournie par le premier essai.

INTRODUCTION DE L'EAU ET GÂCHAGE.

Dans la plupart des laboratoires, les opérateurs expérimentés ont l'habitude, pour abréger les tâtonnements, de verser l'eau par petites fractions dans le ciment, suivant les variations de consistance qu'ils constatent pendant le gâchage avant l'expiration des cinq minutes réglementaires. Ce procédé expéditif peut être commode, mais nous croyons inutile qu'il en soit fait mention dans la rédaction officielle des procédés opératoires, attendu qu'on ne doit jamais considérer ses indications que comme provisoires, tant qu'on ne les a pas vérifiées par un deuxième essai fait dans les conditions prescrites.

Celles-ci devront imposer de verser toute l'eau d'un seul coup et de faire durer le gâchage pendant juste cinq minutes.

Il sera d'ailleurs facile d'abréger les tâtonnements, en tenant compte des résultats mêmes des premiers essais, si l'on remarque que, pour les consistances voisines de la consistance normale (épaisseur non traversée comprise entre 10 et 4 millimètres environ), une variation d'un millimètre d'enfoncement de la sonde correspond à environ 5 centimètres cubes d'eau pour les pâtes trop sèches, et 10 centimètres cubes pour les pâtes trop molles.

Il est nécessaire aussi de définir la manière dont le gâchage doit être effectué; car il est clair que, suivant que le malaxage sera plus ou moins énergique, il faudra des temps variables pour amener un même poids de pâte à une même consistance, et par suite la proportion d'eau néces-

saire pour obtenir une même consistance après un même temps ne sera pas la même dans tous les cas.

Les essais relatés ci-dessus ont été faits en gâchant fortement la matière sur une table de marbre avec une truelle tenue d'une main, suivant l'usage adopté dans la plupart des laboratoires français.

Comme comparaison, nous avons fait une autre gâchée en introduisant 1 kg. du ciment C et 275 centimètres cubes d'eau de mer dans une cuvette en fer-blanc dont les diamètres à la base et à l'ouverture étaient respectivement de 0 m. 16 et 0 m. 33 et la profondeur de 0 m. 09, et gâchant le mélange avec la partie convexe d'une cuiller ordinaire. Par ce procédé, il a fallu environ huit minutes pour amener la pâte à la consistance normale. Ce mode opératoire, en usage, croyons-nous, en Suisse, comporterait-il moins de différences de tour de main que le gâchage à la truelle? C'est peu probable, et en tout cas, il exigerait qu'on définît exactement la forme et les dimensions du récipient [1]. D'ailleurs l'emploi de la truelle est aujourd'hui tellement passé dans les habitudes, qu'il serait peut-être imprudent de le changer à la légère, et nous croyons qu'il y a lieu de le conserver provisoirement [2].

BOÎTE ET SONDAGES.

La boîte à employer pour l'essai de consistance normale pourra avoir 0 m. 040 de profondeur et présenter la forme d'un tronc de cône mesurant 0 m. 08 de diamètre à la base inférieure et 0 m. 09 à la base supérieure. Une des conditions que cette boîte devra remplir sera d'avoir un fond parfaitement plan et horizontal. Peu importera d'ailleurs la matière avec laquelle elle aura été fabriquée.

La pâte sera introduite par petites portions, de manière à éviter autant que possible la pré-

---

[1] Dans le même ordre d'idées, notre collègue M. H. Le Chatelier a pensé qu'on pourrait peut-être, contrairement à l'usage admis, procéder par addition successive du ciment dans un excès d'eau; mais il est à craindre que la difficulté de régler convenablement l'introduction du ciment ne rende ce procédé assez incommode à appliquer dans la pratique.

[2] Il est évident que, plus l'opérateur manipule énergiquement la pâte, moins il est nécessaire d'employer d'eau pour obtenir, après une même durée de gâchage, une consistance déterminée.

On peut se demander si les propriétés de deux pâtes inégalement gâchées avec une même proportion d'eau, et par conséquent de consistances différentes, présentent entre elles un écart moindre ou plus grand que celles des deux pâtes encore inégalement gâchées, mais pour lesquelles on a employé des proportions d'eau différentes, déterminées de telle sorte que les consistances fussent les mêmes.

C'est ce que nous avons recherché par des expériences dont les conditions et les résultats sont décrits par le tableau ci-dessous :

Désignation du ciment	Y				Z			
Eau employée pour le gâchage d'un kilogramme de ciment. Nature	Eau de mer.				Eau douce.			
Volume	250 cm³		230 cm³		275 cm³		255 cm³	
Durée du gâchage (même opérateur et même énergie)	8′	3′	8′	3′	8′	3′	8′	3′
Épaisseur non traversée par la sonde	3 mm. 5	6 mm.	6 mm.	14 mm.	4 mm.	6 mm.	6 mm.	13 mm.
		Même consistance.				Même consistance.		
Commencement de prise	23′	21′	19′	17′	93′	89′	76′	61′
Allure de la prise	Prise très rapide. Les écarts se maintiennent à peu près constants.				Les écarts s'accentuent de plus en plus pendant la prise.			
Résistances moyennes à la traction après immersion de. 1 semaine	33 kg. 7	30 kg. 6	35 kg. 6	34 kg. 1	23 kg. 1	23 kg. 3	32 kg. 4	22 kg. 7
4 semaines	52 kg. 0	48 kg. 3	51 kg. 0	51 kg. 0	"	"	"	"

Il résulte de ce tableau que :

1° *Avec les pâtes gâchées avec une même proportion d'eau :* La prise a été plus lente et la résistance généralement plus forte pour les pâtes les plus malaxées (plus molles);

2° *Avec les pâtes de même consistance :* La prise a été plus lente et la résistance toujours plus faible pour les pâtes contenant le plus d'eau.

sence de bulles d'air (car on en introduirait forcément en mettant la pâte en une seule masse), puis dérasée avec la truelle que l'on promènera presque horizontalement, en l'appuyant sur le bord de la boîte. On ne devra pas imprimer de secousses, afin de ne pas détruire l'homogénéité de la masse.

Avant chaque essai, on s'assurera que la sonde est parfaitement propre et sèche.

Enfin, on devra introduire cette dernière bien au centre de la boîte et se garder de faire deux sondages, ce qui fausserait les résultats, ainsi qu'il résulte des expériences relatées dans le tableau ci-dessous :

VOLUMES D'EAU employés pour gâcher 1 kilogramme d'un même ciment portland.	ÉPAISSEURS D'UNE MÊME PÂTE non traversées par la sonde. (Descente lente.)			
	1re boîte.		2e boîte.	
	1er sondage au centre.	2e sondage à 2 cm. du bord.	1er sondage à 2 cm. du bord.	2e sondage à 2 cm. de l'autre bord sur le même diamètre que le 1er.
	mm.	mm.	mm.	mm.
240 centimètres cubes	8	15	14	14,5
245 —	7	11,5	9	9
250 —	6	10	8	8
255 —	5	7	5	6

APPAREIL À EMPLOYER.

On a vu qu'il convenait de faire descendre la sonde régulièrement et sans vitesse acquise, et *à fortiori* sans faire agir d'autre force que son propre poids (300 grammes). Dès lors, tout dispositif qui permettra de réaliser cette condition en indiquant avec une exactitude suffisante l'épaisseur de pâte restant entre le fond de la boîte et l'extrémité de la sonde pourra être admis. Bien que l'appareil construit par M. le professeur Tetmajer réalise assez bien ces conditions, nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de l'imposer d'une manière absolue, jugeant au contraire utile de laisser le champ libre aux perfectionnements. C'est ainsi que, par exemple, il serait peut-être plus commode de régler la descente de la sonde en retenant celle-ci au moyen d'un fil, après avoir réduit la surface de contact des guides au strict nécessaire pour éviter les frottements. On devra donc se contenter de spécifier les conditions à exiger de l'appareil.

CONSISTANCE À RECHERCHER.

Il a été reconnu plus haut que la consistance à rechercher était celle correspondant à une épaisseur de pâte non traversée de 6 millimètres. En raison de la précision que comporte la méthode, nous ne croyons pas qu'il y ait lieu d'accorder une tolérance ou de fixer deux limites entre lesquelles l'enfoncement doive être compris, ainsi que l'un de nous le proposait lors de la discussion générale, pour le cas où il aurait été difficile d'obtenir exactement un enfoncement déterminé.

VI. CONCLUSIONS PROPOSÉES.

Comme conclusion des observations qui précèdent, nous avons l'honneur de proposer au Comité l'adoption de la rédaction suivante :

Pour déterminer la consistance normale, on opérera sur un kilogramme de ciment qu'on étalera sur une table de marbre en formant une couronne au centre de laquelle on versera d'un seul coup un volume d'eau déterminé.

Le mélange sera gâché fortement à la truelle pendant cinq minutes comptées à partir du moment où l'eau aura été versée.

Avec une partie de la pâte obtenue, on emplira une boîte imperméable tronconique, de 0 m. 040 de profondeur, 0 m. 08 de diamètre à la base inférieure et 0 m. 09 de diamètre

à la base supérieure ; on lissera la surface en faisant glisser la truelle sur le bord supérieur de la boîte, en évitant tout tassement et toute trépidation.

Au centre de la masse de pâte ainsi formée, on fera descendre normalement à la surface de la pâte, avec précaution, et sans lui laisser acquérir de vitesse, une sonde cylindrique de 0 m. 010 de diamètre et du poids de 300 grammes, en métal poli, propre et sèche, terminée par une section nette et d'équerre.

L'appareil dont on fera usage devra être construit de manière à pouvoir indiquer exactement l'épaisseur de pâte restant à chaque instant entre le fond de la boîte et l'extrémité inférieure de la sonde.

On ne fera jamais deux essais sur la pâte contenue dans une même boîte.

On considérera comme normale la consistance de la pâte pour laquelle l'épaisseur de la couche restant entre le fond de la boîte et l'extrémité de la sonde, au moment où celle-ci cessera de s'enfoncer sous l'action de son propre poids, sera de 6 millimètres.

Paris, le 30 juin 1892.

P. ALEXANDRE. R. FERET.

SUR

LE MODE DE FABRICATION ACTUEL

DU SABLE NORMAL.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR MM. E. CANDLOT ET R. FERET.

I. DESCRIPTION.

La totalité du sable employé officiellement en France comme normal est aujourd'hui fabriquée par l'usine à ciment de Boulogne-sur-Mer dans les conditions suivantes soumises au Sous-Comité [1] :

La matière première, envoyée de Cherbourg, consiste en petits morceaux aplatis d'environ 1 centimètre d'épaisseur et 2 à 3 centimètres de largeur, débris de quartzite provenant de la fabrication de matériaux d'empierrement.

Le broyage est effectué au moyen de meules horizontales, en pierre meulière, identiques à celles qu'on emploie pour la fabrication du portland. Il comporte deux opérations consécutives.

Dans la première, qui a pour but de transformer les cailloux en gravier sans qu'on cherche à obtenir immédiatement du sable normal, on fait passer successivement tous les cailloux entre les meules, dont on maintient au juger l'écartement à environ 7 à 8 millimètres.

La courbe A de la planche I, établie d'après une méthode développée dans un autre rapport présenté à la Commission [2], indique approximativement la composition d'un échantillon du sable brut résultant de cette première mouture. Elle montre que le sable se compose surtout de deux parties : l'une grossière, où les grains dominants correspondent à peu près à une tôle perforée à trous de 4 millimètres de diamètre, l'autre farineuse et trop fine pour servir à la fabrication du sable normal. Il s'y trouve aussi un peu de sable normal que l'on recueille,

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

[2] Note de M. Feret sur l'essai des sables destinés à la fabrication des mortiers (page 309).

en même temps qu'on débarrasse le sable de toute sa partie fine, en faisant passer celui-ci, au sortir des meules, dans une bluterie formée de deux prismes concentriques légèrement inclinés et garnis respectivement de toiles métalliques de 64 et 144 mailles par centimètre carré. Mais cette production n'est que subsidiaire et le meunier doit se préoccuper avant tout de la réduire au minimum.

Pour 10.000 kilogrammes de cailloux, la première mouture dure quatorze heures et produit en moyenne 7.500 kilogrammes de gravier, 200 kilogrammes de sable normal et 2.300 kilogrammes de déchet trop fin.

Quand tous les cailloux ont été ainsi transformés, on procède à la seconde opération, qui a pour but d'obtenir avec le gros sable qu'on vient de préparer le plus possible de sable normal et le moins possible de farine. A cet effet, on réduit d'environ moitié l'écartement des meules et on broie de nouveau le sable, en en réglant convenablement l'arrivée et ayant soin de rapprocher fréquemment les meules, à mesure que, par suite de leur usure, leur distance devient trop forte. Le nouveau sable produit tombe dans la même bluterie, qui le divise en trois grosseurs : farine, sable normal et gros grains. Ceux-ci sont reversés immédiatement dans la meule, de sorte que leur proportion diminue à mesure que l'opération se prolonge. On arrête la mouture quand il ne reste plus de gros grains.

Les courbes B et C représentent la composition du sable qui sort des meules au début et vers la fin de la deuxième mouture. On voit que le premier, qui contient encore très peu de sable normal (5 p. 100), ne diffère guère du sable ayant servi à l'obtenir (sable A diminué de tous les grains passant au tamis de 64 mailles, représenté par la courbe A') que par sa moindre teneur en très gros grains. A mesure que la mouture avance, les plus gros grains disparaissent et la grosseur des grains diminue, de sorte que, pour le sable C, obtenu au moment où l'opération tire à sa fin, la grosseur dominante correspond précisément au sable normal. (Le sable C contient 36 p. 100 de son poids de sable normal.)

On constate en outre que les grains sont de plus en plus arrondis, et notamment la différence apparaît d'une manière très nette quand on compare des sables normaux extraits du sable B ou du sable C.

On pourrait obtenir du premier coup un mélange contenant une assez forte proportion de sable normal, en réduisant l'écartement des meules[1]. Mais, outre qu'on dépenserait ainsi une grande quantité de force motrice au détriment des meules qui s'useraient très rapidement, on obtiendrait en même temps une proportion considérable de farine, c'est-à-dire de *déchet*. La pratique a montré qu'il était plus économique de multiplier le nombre des passages aux meules, quitte à ne recueillir chaque fois qu'une quantité relativement faible de sable normal.

Pour la quantité de matière ci-dessus visée, la deuxième mouture dure vingt-trois heures et produit environ 2.000 kilogrammes de sable normal et 5.500 kilogrammes de déchet.

Nous avons dit qu'à sa sortie des meules, le sable tombait dans une bluterie qui le rendait, à son autre extrémité, séparé en trois grosseurs. Un pareil mode de tamisage n'est évidemment pas très précis. Aussi le sable normal est-il soumis ultérieurement à un nouveau traitement destiné à le débarrasser des grains trop fins qu'il contient encore, de même que des grains trop gros qui ont pu s'y introduire accidentellement. A cet effet, on lui fait subir un second tamisage dans des boîtes ayant pour fond les toiles métalliques servant à définir le sable normal et que l'on agite à la main au-dessus d'un récipient en les appuyant sur des rouleaux convenablement disposés. On en sépare ainsi environ 5 p. 100 de son poids de grains étrangers, de sorte qu'en résumé, le poids total de sable normal terminé extrait de 10.000 kilogrammes de pierres est d'environ 2.100 kilogrammes.

D'ailleurs, ce second tamisage lui-même, bien que nécessitant un temps très long, ne suffit pas encore à débarrasser le sable de tous les grains qui pourraient traverser la toile de 144 mailles, ce dont on peut se rendre compte en tamisant pendant plus longtemps une petite quantité de sable. De même, il est probable que le sable obtenu ne contient pas certains grains relativement gros qui pourraient traverser le tamis de 64 mailles si l'on prolongeait suffisamment l'opération.

---

[1] Les sables représentés par les courbes D et E de la planche I ont été obtenus directement au moyen des cailloux, en réduisant l'écartement des meules à environ 3 millimètres pour le premier et les arasant complètement pour le second. Le tableau joint à la figure permet de comparer ces sables avec les trois dont il a déjà été question.

II. DISCUSSION.

Comme on voit, ce mode de fabrication est loin de pouvoir être parfaitement défini : l'écartement des meules, qu'il faut corriger souvent, et la vitesse d'arrivée de la matière à broyer doivent être abandonnés à l'appréciation du meunier qui les règle d'après l'aspect du sable recueilli ; le tamisage laisse à désirer et doit être achevé à la main, opération longue et pénible; enfin nous avons signalé plus haut que les grains obtenus dans les différentes phases de la fabrication ne présentaient pas toujours exactement la même forme.

Actuellement, ces inconvénients ont relativement peu d'importance, étant donné que tout le sable employé en France comme normal est fabriqué dans les mêmes conditions.

D'ailleurs le tableau ci-joint (annexé à la planche I) montre que, bien que les écarts réalisés dans la fabrication du sable se soient traduits par des différences notables dans la forme des grains et le poids du litre, cependant les écarts trouvés pour les résistances de mortiers dans lesquels ces divers sables avaient été employés dans les mêmes conditions, ne présentaient aucune corrélation avec ces différences.

On peut donc se demander s'il est indispensable de définir d'une manière absolument rigoureuse un mode de fabrication à adopter comme normal et s'il ne suffirait pas d'imposer au sable fourni certaines conditions propres à garantir qu'il est conforme à un type déterminé ou, du moins, qu'il ne s'en écarte pas au delà de la limite de précision des essais auxquels on le destine. En particulier, on vient de voir que le poids du litre permettait de caractériser la forme des grains d'une manière très approchée.

Pour plus de sécurité, on pourrait même, au moins provisoirement, stipuler qu'on devra continuer à broyer le sable au moyen de meules.

Toutefois une légère modification s'impose dès à présent au mode de fabrication actuel en ce qui concerne le tamisage, par suite de la décision par laquelle le Comité d'études a admis en principe la substitution des tôles perforées aux toiles métalliques pour définir la grosseur du sable. Il ressort d'un autre travail soumis à la Commission [1] que les diamètres des trous circulaires qui correspondraient aux toiles de 64 et de 144 mailles par centimètre carré actuellement en usage sont respectivement d'environ 1 mm. 45 et 0 mm. 95. On pourrait donc admettre les nombres ronds 1 mm. 5 et 1 millimètre sans qu'il en résulte une bien grande différence dans la grosseur du sable.

Pratiquement, le tamisage devra encore, à moins qu'on ne trouve un procédé plus expéditif, être décomposé en deux opérations consécutives : la première, destinée à dégrossir simplement le sable, pourra être effectuée mécaniquement d'une manière continue et automatique, après qu'on aura déterminé une fois pour toutes par tâtonnement les meilleures conditions de fonctionnement des appareils (longueur et inclinaison du tambour, vitesse de rotation, débit, etc.); les trous des tôles à employer devront être de 1 millimètre et un peu plus de 1 mm. 5, 2 millimètres par exemple, de manière qu'on soit sûr de conserver tous les grains utilisables. La seconde opération, destinée à achever le tamisage, devra, au contraire, être poussée à bout au moyen des tôles mêmes qui définissent la grosseur du sable normal (1 mm. 5 et 1 millimètre) et porter successivement sur des lots limités de sable dégrossi, dont chacun ne sera remplacé par un autre que lorsque les tamis ne laisseront plus passer qu'une quantité négligeable de matière. L'emploi d'une machine à secousses actionnée par un moteur mécanique paraît devoir particulièrement convenir pour cette opération.

Le tableau ci-après donne la comparaison de sables préparés au laboratoire par tamisage complet des deux sables bruts D et E, soit au moyen des toiles de 64 et 144 mailles par centimètre carré, soit au moyen des tôles à trous de 1 mm. 5 et 1 millimètre de diamètre. Les poids du litre ont été déterminés à l'aide de l'entonnoir à tamis adopté par le Comité d'études de la même manière que pour les ciments. Pour les mortiers, on a opéré sur 1 kilo-

[1] Note de M. Feret sur l'essai des sables destinés à la fabrication des mortiers (page 309).

gramme de matière sèche et calculé la proportion d'eau de gâchage en ajoutant 30 grammes au poids d'eau correspondant à la consistance normale du ciment seul.

		SABLE D ANGLES LÉGÈREMENT ÉMOUSSÉS.		SABLE E ANGLES PLUS ÉMOUSSÉS.	
		64-144.	1,5 - 1,0.	64 - 144.	1,5 - 1,0.
Poids du litre		1.420	1.430	1.467	1.487
Résistance à la traction du mortier normal 1 : 3 après immersion à l'eau douce pendant (Moyenne de 9 briquettes.)	1 semaine	18,9	20,2	18,8	18,8
	4 semaines	29,6	29,7	29,1	28,3

III. CONCLUSIONS PROPOSÉES.

Si la Commission est d'avis qu'il y a lieu de continuer à employer comme normal un sable artificiel, nous proposons pour ce sable la définition suivante :

Le sable normal sera obtenu en broyant au moyen de meules le quartzite de Cherbourg.

Il sera composé de tous les grains passant à travers une tôle perforée à trous circulaires de 1 mm. 5 de diamètre et retenus par une autre à trous de 1 millimètre.

Le poids du litre, mesuré au moyen de l'entonnoir à tamis suivant la règle admise par le Comité en ce qui concerne les ciments, sera compris entre 1.450 et 1.520 grammes.

Dans toutes ses applications, le sable normal devra être mesuré et employé parfaitement sec.

Boulogne, le 30 janvier 1893.

E. CANDLOT, R. FERET.

SUR

LE SABLE NORMAL NATUREL.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. DURAND-CLAYE.

Dans sa septième séance, du 3 juin 1892, le Comité d'études a discuté la question du sable normal qui doit être employé pour la confection des mortiers destinés aux essais. La nature du sable ayant une certaine influence sur les résistances à la rupture par les différentes méthodes, il était nécessaire de définir d'une manière précise ce qu'on devait entendre par sable normal.

Le sable normal actuellement en usage en France provient des quartzites de la montagne du Roule, à Cherbourg. Il est réduit en grains sous des meules à l'usine de Boulogne par les soins de notre collègue M. Candlot. Le résidu du broyage est tamisé, et on livre comme sable normal celui qui reste sur le tamis de 144 et passe par celui de 64 mailles au centimètre carré. Ces tamis correspondent à peu près aux tôles perforées dont les trous ont 1 millimètre et 1 mm. 5 de diamètre.

Ce sable est et restera le sable normal pour la France, conformément à une proposition antérieure du Sous-Comité [1], tant qu'on n'aura pas jugé utile de lui en substituer un autre.

Mais une discussion s'est élevée au sein du Comité à ce sujet. On a fait remarquer que, si la compétence et l'honorabilité de notre collègue M. Candlot offraient en ce moment toute garantie et permettaient de compter sur une fabrication consciencieuse et toujours identique, il fallait faire abstraction des personnes et se mettre en présence de l'éventualité d'un fournisseur quelconque, ue des considérations de lucre pourraient conduire à négliger sa fabrication et à livrer des sables qui ne présenteraient pas les qualités requises, ou présenteraient des qualités variables pouvant favoriser les uns au détriment des autres.

Le Comité a, il est vrai, cru parer à l'objection en chargeant l'Administration publique de

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président*, Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

recevoir le sable normal dans ses magasins, de le contrôler et de s'attribuer le monopole de la vente aux intéressés. On croit avoir tout dit quand on a rendu le Gouvernement responsable. Mais, je ne vois pas trop comment on compte rendre ce monopole effectif. Les industriels honnêtes ne manqueront pas d'y recourir, mais les autres pourront s'en dispenser facilement, et l'on tombera vite dans l'inconvénient d'avoir des produits dont, sinon l'origine, du moins le mode de préparation sera différent.

La même roche peut, en effet, donner des sables artificiels de qualité variable, suivant la manière dont elle est broyée. A Boulogne, on prend des débris de carrière que l'on fait passer sous des meules. On obtient ainsi des grains arrondis et à surface dépolie, qui adhèrent bien au ciment. Mais on nous a présenté des sables provenant des mêmes roches qui étaient le résidu du concassage du même quartzite par pression: ce sable est formé d'esquilles à surfaces polies et n'a pas la même force d'adhérence.

Il a semblé à quelques membres du Comité qu'il serait préférable de prendre pour sable normal, comme en Allemagne, un sable naturel qu'on n'aurait qu'à ramasser et à tamiser. On serait ainsi assuré que le mode de fabrication ne varierait pas, car la nature ne modifie pas ses procédés.

Notre collègue M. Viallet a signalé deux sables naturels qui lui semblaient devoir satisfaire au programme: l'un d'eux se rencontre à Saint-Hilaire-Saint-Nazaire, aux confins des départements de l'Isère et de la Drôme; l'autre se trouve à Rozières, près de Lavoute (Haute-Loire). J'ai indiqué de mon côté un sable de mer, qui se recueille vers la pointe de Leucate (Aude) et avec lequel j'avais vu faire des mortiers remarquables et d'une homogénéité parfaite au port de Lanouvelle.

Le Comité m'a chargé de faire une étude de ces sables, et, bien que cette étude ne soit pas achevée, il paraîtra peut-être intéressant d'en connaître les premiers résultats.

Le sable de Saint-Hilaire-Saint-Nazaire provient d'une carrière de kaolin, appartenant à des particuliers, qui l'exploitent par lavage en vue d'en extraire le kaolin et pour lesquels le sable est un résidu dont ils cherchent à se débarrasser. C'est un sable siliceux, d'un bel aspect et de couleur blanche. Les grains sont de grosseur très variable, et il y aurait beaucoup de déchet au tamisage. Cet inconvénient n'est pas très sérieux, car il s'agit d'un produit qui peut être vendu très cher, vu la petite consommation qui s'en fait dans chaque laboratoire. On peut craindre, d'autre part, que le lavage ne soit pas parfait, et qu'il reste un peu de poudre de kaolin, qui réagirait sur la chaux en vertu de ses propriétés pouzzolaniques. Il faudrait donc s'assurer par un lavage complet qu'il ne reste pas de traces de cette poudre.

Mais l'adoption de ce sable se heurterait aux mêmes difficultés que celle du sable artificiel, et pourrait donner lieu à des inconvénients bien autrement graves. Le sable n'est ici que le produit accessoire d'une industrie, l'exploitation du kaolin, qui peut péricliter et cesser à un moment donné. On comprend les embarras qui surgiraient alors. Il est impossible de s'y exposer, et, après quelques essais satisfaisants dont il sera rendu compte plus loin, j'ai cessé de poursuivre les études sur ce sable.

Le sable de Rozières est le produit de la désagrégation d'une roche constituée par une argile rouge, dans laquelle des grains d'un beau sable blanc sont englobés et qui présente l'aspect d'un porphyre. Cette argile tombe en bouillie au contact de l'eau. Pour recueillir le sable, on fait rouler des blocs de la roche dans un petit cours d'eau et l'on attend les crues pour entraîner l'argile, qui se délaye et se met en suspension dans l'eau. Le sable tombe au fond et est entraîné par le courant, mais est arrêté par un barrage en bois, établi à 200 mètres environ de distance. C'est là qu'on le ramasse pour le livrer à la consommation. La grosseur des grains est très variable comme dans l'échantillon précédent. Le sable est quartzeux et d'une belle couleur blanche, mais il reste sali par un peu d'argile rouge. On peut l'en dépouiller par un énergique complément de lavage, mais on parvient difficilement à un résultat parfait. On comprend toute la gravité de ce défaut, l'argile rouge ayant des propriétés pouzzolaniques énergiques qui interviendraient dans les résistances des mortiers. Aussi, bien que la question de propriété privée n'ait pas les mêmes dangers que dans le cas précédent, je n'ai pas cru devoir poursuivre les essais sur ce sable.

Reste le sable de Leucate. « Les sables de cette plage, dit M. l'ingénieur en chef Bouffet, sont produits par les roches des Pyrénées que les rivières du Roussillon apportent à la mer. Les courants littoraux, portant au Nord, les charrient depuis l'embouchure de ces rivières jusqu'au cap Leucate, qui les rejette au large. Leur marche étant très lente, ils arrivent au cap parfaitement épurés et d'une grosseur constante. C'est donc là une carrière inépuisable et d'une composition toujours identique. » M. l'ingénieur Malenfant dit de son côté que l'on a constaté de

tout temps l'homogénéité de ces sables qui, sur une profondeur dépassant probablement 4 mètres, occupent une largeur de 400 mètres sur 13 kilomètres de longueur.

Ils se composent de grains de nature minéralogique diverse; la majeure partie est du quartz hyalin blanchâtre ou légèrement coloré en gris rosé, avec une forte proportion de feldspath orthose blanc laiteux et quelques grains gris verdâtre foncé provenant sans doute des ophites. Le sable fait une légère effervescence avec les acides, ce qui démontre la présence de quelques particules de calcaire, dont une partie sont peut-être dues à l'écrasement de coquilles marines. Les débris de ces coquilles visibles à l'œil nu sont extrêmement peu nombreux.

Le sable de Leucate paraît tellement homogène comme grosseur qu'on serait tenté de l'employer tel quel sans tamisage. Néanmoins, il contient un peu de fine poussière et quelques grains un peu plus gros que la moyenne; et, quoique extrêmement rares, il s'y trouve quelques débris de coquilles qu'une prudence peut-être exagérée commande d'éliminer. J'ai pris le parti d'exclure tout ce qui passe par les trous d'une tôle perforée de 0 mm. 5 de diamètre ou qui reste sur la tôle à trous de 2 millimètres. Il en résulte un déchet presque insignifiant, ainsi que le fait voir le tableau ci-dessous :

	1er ENVOI. (juin 1892.)	2e ENVOI (novembre 1892.)	3e ENVOI. (décembre 1892.)	4e ENVOI. (janvier 1893.)	MOYENNES
PROPORTION P. 100 DE :					
Sable trop gros de plus de 2 mm..	4,2	4,3	2,5	1,7	3,2
Sable à grosseur normale, de 2 mm. à 0 mm 5.....	91,2	92,8	91,7	89,9	91,4
Sable trop fin, de moins de 0 mm 5.	4,6	2,9	5,8	8,4	5,4
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Le déchet n'est que de 8,60 pour 100 en moyenne. C'est avec le sable moyen, que j'ai désigné sous le nom de *sable à grosseur normale*, que j'ai fait les mortiers soumis aux essais.

La composition granulométrique du sable à grosseur normale ne paraît pas présenter la même constance. On a trouvé sur les quatre échantillons ci-dessus les résultats suivants :

	1er ENVOI.	2e ENVOI.	3e ENVOI.	4e ENVOI.	MOYENNES.
Sable de 2 mm. à 1 mm. 5.....	19,4	24,5	7,3	7,5	14,7
— de 1 mm. 5 à 1 mm.....	58,1	57,5	48,5	50,5	53,6
— de 1 mm. à 0 mm. 5.....	22,5	18,0	44,2	42,0	31,7
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

La différence entre les deux derniers échantillons et les deux premiers peut provenir, soit de la différence des saisons, soit de ce que le sable, qui est celui qu'on emploie couramment aux travaux de Lanouvelle, n'a pas été pris au même endroit. Ce doute n'a pu être vérifié. Les résistances ne paraissent pas d'ailleurs devoir s'en ressentir.

Le poids du litre de sable tout venant, mesuré suivant les règles adoptées par le Comité, a varié de 1 kg. 500 à 1 kg. 509 avec une moyenne de 1 kg. 506 et un écart moyen de 0 kg. 04

Le poids du litre de sable à grosseur normale après tamisage a varié de 1 kg. 470 à 1 kg. 492, avec une moyenne de 1 kg. 480 et un écart moyen de 0 kg. 007.

Le poids spécifique a varié de 2,614 à 2,628, avec une moyenne de 2,621 et un écart moyen de 0,005.

Il en résulte que les vides occupent environ 43 p. 100 du volume du sable mesuré sans tassement.

Le sable normal reçu de Boulogne au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées présente des variations de poids plus marquées Le litre mesuré de la même manière a pesé depuis

1 kg. 290 jusqu'à 1 kg. 362. La moyenne a été de 1 kg. 330 avec un écart moyen de 0 kg. 018 pour dix essais faits sur des échantillons pris en divers points de quatre barils.

Le poids spécifique du sable normal de Boulogne, mesuré seulement sur deux envois, a été de 2 kg. 634 et 2 kg. 649, dont la moyenne est de 2 kg. 641 et l'écart moyen de 0 kg. 075.

Les vides, dans ce sable, occuperaient d'après cela 50 p. 100 du volume mesuré sans tassement.

Il a été procédé à une analyse chimique complète sur un des échantillons reçus de Leucate.

L'analyse de cet échantillon a donné les résultats suivants :

	SABLE TOUT VENANT.	RÉSIDU				SABLE FIN ayant passé par la tôle perforée à trous de 0 mm. 5.
		RESTÉ sur une tôle perforée à trous de 2 mm. de diamètre.	RECUEILLI ENTRE DEUX TÔLES PERFORÉES à trous			
			de 2 mm. et de 1 mm. 5.	de 1 mm. 5 et de 1 mm.	de 1 mm. et de 0 mm. 5.	
Résidu siliceux insoluble dans les acides	97,55	95,79	97,70	97,79	96,68	94,56
Alumine et peroxyde de fer	0,43	0,29	0,36	0,49	0,69	1,71
Chaux	0,80	1,94	0,82	0,63	1,01	1,20
Magnésie	0,10	0,06	0,08	0,13	0,14	0,35
Oxyde rouge de manganèse	0,11	0.06	0,07	0,11	0,16	0,51
Chlore	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,11
Acide sulfurique	0,01	0,00	0,00	Traces.	Traces.	0,03
Perte au feu	0,84	1,68	0,83	0,73	1,06	1,39
Matières non dosées et perte	0,11	0,14	0,10	0,07	0,20	0,14
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,0

On voit que les matières attaquables aux acides y sont en minime quantité, et que le carbonate de chaux n'y figure que pour 1,4 p. 100 environ, dont une grande partie reste avec les grains trop fins ou trop gros pour constituer du sable à grosseur normale.

Pour juger de la valeur que le sable naturel pourrait avoir pour les essais de résistance, j'ai fait fabriquer plusieurs séries de briquettes en mortier de ciment, d'une part avec le sable normal de Boulogne et d'autre part avec les sables naturels, particulièrement avec celui de Leucate, le ciment étant toujours le même pour les séries correspondantes. Les résultats de ces essais sont consignés au tableau ci-joint.

L'inspection de ce tableau fait reconnaître que les briquettes au sable naturel donnent des résistances analogues à celles des briquettes au sable normal de Boulogne. Si elles sont restées inférieures dans un certain nombre de cas, c'est que l'on avait adopté la même dose d'eau et que cette dose se trouve trop forte, les sables plus grossiers devant être relativement moins mouillés que les sables plus fins. Quand on réduit la proportion d'eau, les résistances deviennent supérieures, au moins pour le sable de Leucate, comme le montrent les essais IV et V.

Les écarts entre la moyenne des six résultats de chaque série et chacun des résultats isolés de cette série sont de même ordre avec tous les sables. Néanmoins, ils sont en moyenne un peu moins marqués pour l'arrachement des briquettes en sable naturel que pour celui des briquettes en sable artificiel ; le contraire a lieu pour l'écrasement. Mais la différence est peu sensible dans tous les cas.

Les essais sont peut-être encore trop peu nombreux pour qu'on présente des conclusions définitives. Il en ressort toutefois que le sable de Leucate pourrait sans doute être adopté si l'on préférait le sable naturel au sable artificiel.

Paris, le 10 février 1893.

DURAND-CLAYE.

TABLEAU COMPARATIF

des résistances obtenues sur des briquettes en 8 fabriquées, les unes avec du sable normal artificiel, les autres avec du sable naturel.

Numéros d'ordre des essais.	Nature du sable.	Dose d'eau p. 100.	Arrachement à 7 jours. Moyennes des résistances.	Arrachement à 7 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Arrachement à 28 jours. Moyennes des résistances.	Arrachement à 28 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Écrasement à 7 jours. Moyennes des résistances.	Écrasement à 7 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Écrasement à 28 jours. Moyennes des résistances.	Écrasement à 28 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Observations. (A)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			kg.		kg.		kg.		kg.		
I	Artificiel de Boulogne.	(1) 10,5	15,37	4,62	21,90	5,48	156	3,42	207	4,67	(1) Tous les mortiers au sable artificiel ont été dosés à 1 de ciment pour 3 de sable.
			15,27	2,74	22,72	4,44	154	4,54	213	3,55	
			15,32	3,68	22,31	4,96	155	3,98	210	4,11	
	Naturel de Leucate...	(2) 10,5	15,23	3,54	23,03	2,30	182	8,17	230	4,64	(2) Le mortier a été confectionné avec 250 g. de ciment pour 850 g. de sable tout venant.
			15,63	3,01	21,53	4,55	174	7,19	229	3,74	
			15,43	3,27	22,28	3,42	178	7,68	229	4,19	
II	Artificiel de Boulogne.	10,5	11,08	9,24	18,30	9,29	121	4,54	182	4,12	
			10,72	7,30	18,67	4,87	129	5,10	172	7,29	
			10,90	8,27	18,48	7,08	125	4,82	177	5,72	
	Naturel de Leucate..	(3) 10,5	9,22	10,38	17,58	2,56	126	6,49	196	5,91	(3) Mortier à 1 de ciment pour 3 de sable tout venant.
			8,23	8,38	16,92	5,61	114	5,46	185	5,32	
			8,72	9,38	17,25	4,08	120	5,97	190	5,61	
III	Artificiel de Boulogne.	10,5	10,42	7,51	18,12	5,63	128	2,47	172	5,52	
			10,42	5,66	19,67	7,00	126	5,68	183	4,83	
			10,42	6,59	18,89	6,31	127	4,07	177	5,17	
	Naturel de Leucate...	(4) 10,5	8,68	4,72	16,72	11,62	120	7,78	189	7,52	(4) Mortier à 1 de ciment pour 833 g. de sable tamisé à grosseur normale.
			10,50	5,04	17,97	3,52	126	5,29	193	7,54	
			9,59	4,88	17,34	7,57	123	6,53	191	7,53	
		(5) 10,2	8,98	4,71	16,72	3,69	109	16,94	178	3,69	(5) Mortier à 250 g. de ciment pour 3 de sable à grosseur normale.
			9,23	6,86	16,20	4,53	106	12,48	172	3,19	
			9,10	5,79	16,46	4,11	107	14,71	175	3,44	
IV	Artificiel de Boulogne.	10,4	17,2	9,59	23,1	7,88	162	5,41	211	6,24	
			16,7	12,51	24,8	4,52	158	6,59	232	7,77	
			16,95	11,05	23,95	6,20	160	6,00	221	7,00	
	Naturel de Leucate..	(6) 10,4	17,7	3,56	25,1	3,25	155	5,52	223	9,62	(6) Cet échantillon, comme tous les suivants, a été fait en mortier à 1 de ciment pour 3 de sable tamisé à la grosseur normale.
			17,1	5,09	25,6	4,57	153	11,06	233	5,49	
			17,40	4,32	25,35	3,91	154	8,29	228	7,55	
		9,9	18,5	7,73	27,7	3,79	178	5,52	280	3,87	
			19,2	6,35	27,3	2,64	183	4,47	272	7,95	
			18,85	7,04	27,50	3,22	181	5,00	276	5,91	
		10,9	15,3	9,61	23,6	8,56	151	3,75	203	8,87	
			16,4	8,41	23,1	7,71	152	10,47	228	5,49	
			15,85	9,01	23,4	8,14	151	7,11	215	7,18	

(A) *Observation générale.* — Toutes les briquettes ont été faites par séries de 6 sur une même gâchée. C'est sur ce nombre qu'ont été prises les moyennes des résistances et les moyennes des écarts.

Numéros d'ordre des essais.	Nature du sable.	Dose d'eau p. 100.	Arrachement à 7 jours. Moyennes des résistances.	Arrachement à 7 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Arrachement à 28 jours. Moyennes des résistances.	Arrachement à 28 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Écrasement à 7 jours. Moyennes des résistances.	Écrasement à 7 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Écrasement à 28 jours. Moyennes des résistances.	Écrasement à 28 jours. Moyennes des écarts p. 100.	Observations. (a)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
			kg.		kg.		kg.		kg.		
V	Artificiel de Boulogne.	10,4	15,2	4,41	24,4	9,92	159	5,40	236	3,39	
			14,6	11,30	25,1	6,37	158	5,49	250	2,23	
			14,9	7,85	24,7	8,14	158	5,44	243	2,81	
	Naturel de Leucate...	10,4	13,9	5,75	23,4	5,04	158	5,61	229	4,47	
			16,0	2,69	24,6	7,31	162	5,57	236	1,84	
			15,0	4,22	24,0	6,17	160	5,59	232	3,15	
		9,9	16,7	5,39	25,1	3,59	172	10,98	259	1,74	
			17,2	9,88	25,6	3,43	176	2,84	258	5,11	
			16,9	7,63	25,3	3,51	174	6,91	258	3,42	
		10,9	13,7	3,80	22,0	4,54	119	3,52	199	6,14	
			12,9	1,07	23,4	3,63	117	10,02	197	9,30	
			13,3	2,43	22,7	4,08	118	6,77	198	7,72	
VI	Artificiel de Boulogne.	10,4	17,3	5,14	25,5	4,59	168	2,18	229	4,22	
			17,2	6,57	25,1	3,98	181	8,20	229	4,81	
			17,25	5,85	25,30	4,28	175	5,19	229	4,51	
	Naturel de St-Hilaire-St-Nazaire.....	10,4	15,7	4,14	23,2	6,25	163	8,31	223	5,39	
			16,2	6,97	24,5	3,88	163	7,37	220	8,58	
			15,95	5,55	23,85	5,06	163	7,84	221	6,98	
		9,9	16,5	4,36	24,4	5,94	170	2,66	224	4,81	
			17,2	6,10	24,0	4,67	171	4,39	233	8,12	
			16,85	5,23	24,2	5,30	170	3,52	228	6,46	
		10,9	14,8	5,95	22,7	3,83	154	3,47	195	4,01	
			14,8	7,63	23,2	6,98	139	7,70	210	5,98	
			14,8	6,79	22,95	5,40	146	5,58	203	4,99	
VII	Artificiel de Boulogne.	10,4	25,2	3,45	35,5	4,31	259	4,26	358	2,82	
			25,9	2,51	35,6	3,93	264	5,77	335	3,49	
			25,55	2,98	35,55	4,12	261	5,01	346	3,16	
	Naturel de Rozières..	10,4	24,6	6,30	37,9	1,50	299	4,35	390	3,72	
			23,9	5,19	36,8	3,31	267	4,33	395	4,47	
			24,25	5,75	37,35	2,41	283	4,34	392	4,09	
		(1) 1,06	29,1	6,25	38,7	1,68	318	4,75	397	2,85	(1) Sable imparfaitement lavé.
			27,3	7,43	35,3	4,31	317	9,74	374	5,44	
			28,2	6,84	37,0	3,00	317	7,25	385	4,15	

MOYENNES GÉNÉRALES DES ÉCARTS.

Sable artificiel de Boulogne.....	"	"	6,61	"	5,87	"	4,93	"	4,67
Sable naturel de Leucate.	"	"	5,80	"	4,82	"	7,46	"	5,57
Sable de Saint-Hilaire-Saint-Nazaire..	"	"	5,86	"	5,25	"	5,65	"	6,07
Sable de Rozières.....	"	"	6,29	"	2,70	"	5,79	"	4,12

(a) *Observation générale.* — Toutes les briquettes ont été faites par séries de 6 sur une même gâchée. C'est sur ce nombre qu'ont été prises les moyennes des résistances et les moyennes des écarts.

Imprimerie Nationale. — Octobre 1894.

SUR

LA COMPOSITION À DONNER AUX MORTIERS

D'ESSAI

ET LEUR MEILLEUR MODE DE FABRICATION.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. R. FERET.

I. — EXPOSÉ DES QUESTIONS PENDANTES.

Parmi les nombreuses questions se rattachant à la composition et au mode de confection des mortiers sableux à employer pour les essais de ciments, questions dont la discussion a fait en grande partie l'objet des septième, huitième et neuvième séances du Comité d'études de la Section B, quelques-unes seulement ont été résolues; les autres ont été renvoyées au Sous-Comité [1] pour être soumises à de nouvelles études, avec indication, dans certains cas, du sens dans lequel le Comité souhaitait que les recherches fussent dirigées.

En particulier, dans le double but d'atténuer les écarts provenant des différences de tassement et d'adopter un type de mortier plus voisin de ceux de la pratique, le Comité d'études s'est montré favorable à la suppression du battage des mortiers d'essai.

Cette question est intimement liée à toutes celles qui concernent la composition des mortiers et leur mode de fabrication, et nous ne croyons pas qu'on puisse les aborder séparément, d'autant plus que, par suite de l'indécision même relative au maintien ou à la suppression du battage, la plupart sont restées en suspens.

Afin de bien établir quelles dispositions on peut considérer comme dès à présent adoptées et quelles autres restent provisoirement subordonnées au résultat de l'étude générale dont nous avons été chargé, nous commencerons par résumer rapidement les principaux points sur lesquels ont porté les discussions.

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

Sable normal. — Le Comité a jugé que, pour le moment, le moyen le plus sûr d'obtenir un sable normal inerte, toujours identique à lui-même, était de broyer, toujours dans les mêmes conditions, le quartzite de Cherbourg, et que la meilleure garantie d'une fabrication constante et d'une fourniture assurée serait que l'Administration se chargeât du broyage et de la préparation du sable normal. MM. Candlot et Feret ont été chargés de définir le mode de mouture à adopter.

En même temps, M. l'inspecteur général Durand-Claye, auteur d'un amendement tendant à substituer au sable obtenu mécaniquement suivant le principe actuellement en vigueur un sable naturel bien défini qu'on pût se procurer toujours en abondance, a bien voulu entreprendre de rechercher si certains sables naturels qu'il avait en vue ne pourraient pas, en raison de leur nature minéralogique, de leur teneur en grains d'une grosseur déterminée et de la persistance assurée de leurs gisements, convenir à la fabrication du sable normal et être proposés plus tard pour remplacer le quartzite moulu.

En ce qui concerne le triage des grains, le Comité a décidé qu'il convenait de substituer les tôles perforées aux tamis en toile métallique et a chargé le Sous-Comité de faire la comparaison des résultats obtenus par les deux sortes de tamisage.

Il n'a d'ailleurs pas fixé la grosseur des grains ni stipulé si le sable serait uniforme ou composé de grains de diverses grosseurs.

Eau. — L'eau à employer pour le gâchage a été laissée arbitraire, à condition qu'on indiquât toujours sa nature et sa provenance. Nous n'aurons pas à revenir sur cette question.

D'autre part, il a été admis que la proportion de cette eau serait exprimée en deux parties, l'une correspondant à la consistance normale de la quantité de ciment pur entrant dans le mortier, l'autre proportionnelle au poids de sable, et que le Sous-Comité serait chargé de définir dès qu'il aurait choisi le sable normal.

On n'a pu fixer quelle consistance il conviendrait de rechercher.

Proportions de ciment et de sable. — Après avoir admis en principe que les matières seraient pesées et les dosages exprimés en poids, le Comité a adopté comme proportion normale celle de 1 de ciment pour 3 de sable, et comme proportions facultatives celles de 1 pour 2 et de 1 pour 5. Il a en outre décidé que, si l'on désirait étudier d'autres dosages, en eût à les choisir tels que les proportions pondérales du sable fussent des multiples simples de celles du ciment.

Toutefois, lorsque ultérieurement il s'est agi de déterminer la composition du mortier se prêtant le mieux à un remplissage uniforme des moules, quelques membres ont pensé qu'une augmentation de la teneur en ciment aurait peut-être pour effet de régulariser le tassement du mortier, et proposé qu'il fût fait des expériences dans ce sens. Il se pourra donc que ces recherches conduisent à modifier la définition du dosage normal.

Confection des éprouvettes. — Prévoyant tout d'abord qu'on opérerait comme par le passé sur des mortiers obtenus en damant énergiquement des mélanges relativement secs, le Comité a admis les règles suivantes:

Les moules à éprouvettes et l'appareil d'essai seront les mêmes que ceux employés pour les essais des éprouvettes de ciment pur.

On préparera les éprouvettes d'essai de la manière suivante:

Ayant placé sur un support inébranlable une plaque de marbre ou de métal poli, on y déposera les moules préalablement bien nettoyés, frottés d'un linge gras et humectés.

On pèsera 250 g. de ciment et 750 g. de sable que l'on mélangera intimement à sec dans une cuvette avec une cuiller. On y ajoutera la quantité d'eau définie plus haut, puis on remuera toute la masse avec une spatule en fer pendant cinq minutes, comptées à partir du moment où l'eau aura été versée. On obtiendra ainsi un mortier ayant l'aspect de la terre humide fraîchement remuée.

Ce mortier sera introduit dans les moules en quantité suffisante pour qu'il fasse encore saillie au-dessus des bords après le damage. Celui-ci ne pourra commencer qu'après que le moule aura été complètement rempli.

La question du damage ayant alors soulevé de nombreuses controverses, notamment en raison de ce qu'il est difficile de définir cette opération d'une manière assez précise pour qu'on puisse la pratiquer partout dans des conditions identiques, diverses motions ont été émises en vue de remédier à cet inconvénient.

L'emploi de dispositifs mécaniques destinés à produire un battage automatique et uniforme n'a pas paru devoir être recommandé, vu la complication de la plupart des appareils existants, leur prix élevé et la durée relativement considérable de chaque opération.

Puis on a proposé soit d'augmenter la dose de ciment, soit de mouiller un peu plus les mortiers, soit même de les gâcher à consistance plastique et de les mastiquer dans les moules sans les y battre. En même temps, on a paru admettre assez volontiers que, si l'on adoptait cette manière de faire, un sable mélangé pourrait être plus avantageux qu'un sable à grains égaux.

Si séduisant qu'ait généralement paru le choix de mortiers plastiques non damés, analogues à ceux de la pratique, néanmoins le Comité n'a pas cru devoir prendre à son sujet une décision immédiate, et il a été convenu que de nouvelles expériences seraient entreprises en vue d'étudier le moyen d'éviter le damage. Dès lors il est évident que la plupart des dispositions adoptées antérieurement pourront n'être plus applicables au type de mortier que ces expériences auront fait admettre, et que les conclusions s'y rattachant se trouvent suspendues jusqu'à ce choix.

En somme, il ne reste d'acquises définitivement que les décisions relatives à la fabrication du sable normal, ainsi qu'à la nature de l'eau de gâchage. Nous nous affranchirons donc provisoirement de toutes les autres, afin de n'être entravé en rien dans la recherche du meilleur mortier d'essai, quitte à reprendre, s'il y a lieu, après avoir choisi ce mortier, celles qui resteront compatibles avec ses conditions de fabrication.

II. — EXPÉRIENCES.

Pour les diverses expériences dont la description suit, nous avons employé exclusivement des ciments portlands de même nature réputés de bonne qualité et des sables obtenus par mouture, puis tamisage de quartzite de Cherbourg.

Reprenant les diverses idées émises lors de la discussion générale, nous avons opéré successivement sur des mortiers différant entre eux soit par la composition de leur sable, soit par leur richesse en ciment, soit par leur consistance (proportion d'eau), soit par la manière dont on les introduisait dans les moules.

Les expériences ont été de deux sortes :

Les unes, destinées à mettre en évidence les écarts des résistances de nombreuses briquettes d'un même mortier gâchées le même jour par un même opérateur s'efforçant de les manipuler toujours de la même manière, sont relatées par les tableaux A (traction) et B (compression) ci-après (pages 92, 93 et 94).

Les autres, décrites par le tableau C (traction), ont eu pour but de montrer l'influence du tour de main d'opérateurs différents (pages 96 et 97). Elles permettent de comparer les résistances moyennes de six séries ordinaires de briquettes de chaque mortier (6 à 8 briquettes par série, suivant le rendement d'un kilogramme de matière), fabriquées respectivement par six opérateurs distincts, le même jour et dans des conditions bien définies, les autres circonstances susceptibles d'influer sur la résistance (température lors du gâchage, conservation, etc.) étant rigoureusement identiques.

Les nombres inscrits dans la dernière colonne de chacun de ces trois tableaux représentent les écarts moyens des résistances obtenues pour un même mortier exprimés en tant pour cent de la résistance moyenne, et par suite mesurent le degré de concordance des résultats correspondant à chaque mortier.

Le tableau D (pages 98 et 99) résume les principaux résultats fournis par les trois précédents et classe d'après leur mode de fabrication les divers mortiers étudiés. Pour chaque groupe d'essais de même nature, on a calculé la moyenne des résistances obtenues après une même période et celle des écarts moyens, sans tenir compte de la diversité des ciments employés, de manière à pouvoir comparer d'un coup d'œil le degré de concordance des résultats obtenus avec chaque type de mortier et la valeur approximative des résistances correspondantes.

On remarquera que, en plus des mortiers sur lesquels devaient porter les recherches, nous avons étudié de la même manière quelques pâtes de ciment pur dont nous indiquons, à titre de simple renseignement, les résistances et les écarts moyens, afin qu'on puisse apprécier, comparativement avec ceux des divers mortiers sableux, le degré d'exactitude qu'on peut attendre des essais au ciment pur.

III. — EXAMEN DES RÉSULTATS.

1° Mortiers damés.

Bien que le Comité d'études ait exprimé le souhait de voir remplacer, dans les essais de laboratoire, les mortiers damés actuellement en usage par des mortiers plastiques qu'on introduirait sans tassement dans les moules, il nous a paru nécessaire, pour le cas où cette substitution ne pourrait être opérée immédiatement, d'étudier les conditions de fabrication du mortier normal et de chercher si l'on ne pourrait pas les rendre plus uniformes, soit par une définition plus précise, soit par quelque léger changement apporté à la composition ou à la manipulation de ce mortier.

En effet, s'il était reconnu qu'une faible modification des pratiques actuelles suffise à améliorer notablement la concordance des résultats auxquels elles conduisent, on pourrait se demander s'il y a lieu d'aller plus loin et de changer complètement la nature des mortiers normaux.

Fabrication du mortier normal actuel. — Dans une note soumise au Comité d'études (9e séance), nous avons montré par un exemple les écarts que pouvaient présenter les résistances moyennes de briquettes de mortier sableux normal fabriquées par six opérateurs différents conformément aux règles du cahier des charges de Boulogne. Les expériences citées sont relatées sous le n° 83 dans le tableau C (pages 96 et 97). En même temps, nous avons signalé la difficulté d'apprécier à l'œil aucune différence de tour de main entre les opérateurs et montré, en indiquant les poids du litre des divers mortiers, que les variations des résistances ne correspondaient aucunement à celles des poids, à tel point que parfois les mortiers les moins lourds avaient supporté les plus fortes charges de rupture.

Il y avait donc lieu de croire que le degré de tassement n'était pas le seul facteur à considérer, et que les écarts devaient tenir aussi à d'autres causes. En particulier on pouvait craindre que, mal effectué, le lissage final n'eût parfois pour effet de désagréger plus ou moins la briquette.

Les expériences 84 à 87 du tableau C, exécutées en vue de rechercher si les principaux écarts étaient dus au battage ou bien au lissage, ne permettent d'attribuer à aucune de ces deux opérations une influence perturbatrice prépondérante. On constate seulement, ainsi qu'on devait le prévoir, que les écarts moyens de ces quatre groupes d'expériences, dans lesquelles une partie seulement de la manipulation a été exécutée par des opérateurs différents, sont moins forts que ceux de la série 83, pour laquelle chacun a confectionné complètement ses briquettes.

Il semble donc établi par ces expériences que les erreurs portent sur l'ensemble de la manipulation et non spécialement sur telle ou telle de ses phases, de sorte qu'il n'y a pas à espérer de les réduire d'une manière bien notable en modifiant ou précisant davantage quelque détail particulier de l'opération.

Toutefois nous avons remarqué ultérieurement que l'un des opérateurs, désigné par la lettre D dans le tableau C, ne tenait pas le moule d'une main suffisamment ferme pendant qu'il battait énergiquement de l'autre, de sorte que la briquette éprouvait parfois de légers soubresauts susceptibles de désagréger partiellement le mortier. On constate d'ailleurs que les résistances des briquettes battues par l'opérateur D ont été généralement les plus faibles et ont même souvent présenté entre elles des écarts assez considérables.

Battage mécanique. — Bien que le Comité d'études ne se soit pas montré en principe favorable aux appareils imaginés pour affranchir, autant que possible, le battage des mortiers des inégalités de tour de main des opérateurs, nous avons expérimenté deux types d'appareils que nous avons pu nous procurer facilement et dont l'usage est fort répandu à l'étranger et surtout en Allemagne, ceux de M. le professeur Tetmajer, l'un pour les briquettes et l'autre pour les cubes, et celui de M. le docteur Böhme, qui sert indifféremment pour les deux genres d'éprouvettes.

En comparant, dans le tableau D (pages 98 et 99), les écarts moyens trouvés pour les briquettes des mortiers 31 et 32 (groupe V) battus avec ces appareils, à ceux des mortiers de même composition battus à la main (groupe III), on remarque que l'appareil Böhme (essai n° 32) a donné des résultats un peu plus concordants que les deux autres systèmes, lesquels n'ont pas présenté entre eux de différences bien appréciables.

Les résistances à la compression (essais 59 et 60) accusent une différence considérable dans

l'énergie du battage des deux machines. Mais, pour l'une comme pour l'autre, les écarts des mortiers damés mécaniquement ont été un peu plus forts que ceux des mortiers pilonnés à la main. Ce résultat provient évidemment de ce qu'on a été obligé de démouler immédiatement les premiers, ce qui a dû souvent les ébranler.

Le même inconvénient s'est présenté pour les briquettes et s'est traduit par quelques résistances anormales (voir la colonne spéciale du tableau A). Il serait facile de l'éviter, si l'on se servait couramment de l'une de ces machines, en ayant un nombre de moules s'y adaptant suffisant pour qu'on ne soit pas obligé de démouler immédiatement les éprouvettes.

Les nombres obtenus pour les écarts moyens prouvent tout au plus que la régularité des briquettes battues à la machine n'est guère supérieure à celle de briquettes fabriquées par un *même* opérateur exercé. Il n'en est pas moins à peu près certain *a priori* que l'emploi d'un même dispositif mécanique doit atténuer considérablement les écarts correspondant à des opérateurs différents [1].

Le plus grave défaut des deux types étudiés est leur lenteur d'action, qui limite considérablement le nombre des éprouvettes qu'on peut faire en un jour avec chacun d'eux.

Tel ne serait pas le cas d'un appareil construit par M. le professeur Jameson, directeur de l'*Engineering laboratory of the State University of Iowa* (*U. S.*), appareil au moyen duquel, affirme son inventeur, deux hommes peuvent faire par heure 600 briquettes [2]. Une plaque métallique de l'épaisseur de la briquette et traversée par deux entailles qui forment moules oscille, sous l'action de la main, autour d'un pivot de manière à présenter alternativement chaque moule sous un piston de même forme, pendant qu'on enlève immédiatement la briquette de l'autre à l'aide d'un refouloir spécial. Le mortier, introduit par un couloir cylindrique dont le contour correspond à celui de la briquette, est comprimé d'un seul coup au moyen d'un piston mû par un levier à main. D'après M. Powers, qui s'est servi de cette machine [3], la pression produite est de 10,6 à 12,4 kilogrammes par centimètre carré, ce qui permet de réduire au minimum la proportion d'eau employée à mouiller le mortier.

Du même genre serait sans doute la machine imaginée par l'un de nos vice-présidents, M. Brüll, pour fabriquer des cylindres de mortier, et décrite dans une note qui a été distribuée à tous les membres de la Commission [4] (Voir page 171).

Mais, quel que soit l'appareil que l'on juge le meilleur, il aura toujours l'inconvénient d'être coûteux, et on risquerait en l'adoptant de rendre impraticables sur la plupart des chantiers, en raison de leur prix élevé et de leur complication exagérée, les essais de résistance qui forment aujourd'hui la principale base des épreuves de contrôle et de réception.

En outre, on peut craindre qu'à l'usage ces machines, qui subissent des chocs assez violents, se détériorent assez rapidement et ne cessent d'offrir les garanties requises de régularité et de comparabilité.

Battage au pilon. — Les essais 33 et 34 (tableau A) ont été faits en battant les mortiers à la main au moyen d'un pilon du poids d'un kilogramme, présentant la même forme que la briquette et guidé par un couloir vertical de même section haut de 0 m. 125. Ce dispositif, imaginé par M. Candlot et dont l'emploi depuis plusieurs années à l'usine de Boulogne a toujours donné de bons résultats, permettrait de simplifier la définition du battage.

Bien que l'écart moyen (6,5) des résistances de briquettes pilonnées par un même opérateur ne soit guère inférieur à celui (7,6) de briquettes battues à la spatule, également par un même opérateur, il n'est pas douteux qu'entre les mains d'opérateurs différents, le pilon guidé par un couloir spécial ne donne des résultats plus concordants que la spatule. C'est ce que montrent les essais 92 et 93 du groupe III *bis* (tableau D), qui correspondent à des briquettes pilonnées par divers opérateurs et dont la moyenne des écarts moyens (7,4) est notablement plus faible que la moyenne correspondante du groupe III (11,4), relatif aux briquettes battues à la spatule, bien que la plupart des opérateurs se servissent du pilon pour la première fois.

A ce sujet, il est intéressant de remarquer (renvoi n° 17, p. 95) qu'un maçon qui n'avait encore jamais fait d'essais d'aucune espèce a obtenu du premier coup, à l'aide du pilon, des résistances très sensiblement égales aux moyennes de celles des autres opérateurs.

---

[1] Pour les résultats fournis par les deux machines étudiées, voir aussi les renvois (15) et (16) relatifs aux essais 88 et 90 du tableau C.

[2] *Engineering News*, XXV, p. 138 (7 févr. 1891).

[3] *Engineering News*, XXVI, p. 481 (21 nov. 1891).

[4] Nous ne parlons pas du Jig, machine américaine décrite dans la publication précitée (XXV, p. 2, 3 janv. 1891) et servant à la fabrication mécanique des pâtes de ciment pur. Au moyen de cette machine, deux ouvriers font environ 24 briquettes par heure.

Enfin on s'aperçoit, et des expériences directes de M. Candlot confirment cette observation, que les résistances sont améliorées par l'emploi du pilon, considération qui, au point de vue commercial, présente une réelle valeur.

Les principales conditions de construction et d'emploi de cet instrument sont les suivantes :

1° Il est nécessaire que la partie inférieure du couloir s'adapte sur le moule à briquette de manière à l'empêcher de s'ouvrir sous l'effort de la compression du mortier.

2° Le damage doit être faible au début, puis de plus en plus énergique ; on peut le considérer comme terminé dès que l'on voit un peu d'eau s'échapper par éclaboussage entre le moule et la plaque sur laquelle il repose.

Ce système de damage, grâce auquel on n'a pas à craindre, comme avec la spatule, des coups à faux capables de désagréger le mortier sans qu'on s'en aperçoive, joint aux avantages déjà cités celui d'être identique au procédé employé couramment pour le battage des cubes de mortier destinés aux essais de compression. Nous croyons que, au cas où le Comité déciderait de conserver, au moins provisoirement, l'usage de mortiers d'essai damés, il y aurait lieu d'adopter comme normal l'emploi du pilon qui vient d'être défini.

Battage de mortiers plus mouillés que le mortier normal. — Nous avons cherché si, en modifiant la proportion d'eau employée à mouiller le mortier destiné à être battu, on n'arriverait pas à diminuer les écarts des résistances.

La comparaison des mortiers 22, 23 et 24, de même que celle des mortiers 27 et 28 (tableau A), montre que les écarts moyens sont à peu près indépendants de la quantité d'eau employée pour le gâchage. Par contre, la résistance diminue à mesure que la quantité d'eau augmente.

Étant donné que le battage devient assez difficile dès qu'on opère sur des mortiers un peu plus mouillés que ceux qui correspondent à la pratique actuelle des laboratoires, nous croyons que si l'on continue à faire usage de mortiers battus, il n'y aura pas lieu de les mouiller davantage.

Battage de mortiers à divers dosages. — On pouvait encore espérer régulariser les résistances des mortiers damés en augmentant leur teneur en ciment. D'ailleurs, le Comité d'études ayant admis le principe de plusieurs dosages normaux, il était intéressant de rechercher quel degré d'approximation comportaient les résultats fournis par les mortiers correspondants.

La comparaison des groupes II, III et IV du tableau D montre que les écarts moyens ont été à peu près les mêmes dans tous les cas, de sorte qu'il ne paraît pas y avoir intérêt à modifier le dosage normal. On a seulement constaté (tableau A, essai n° 20) que le mortier 1 : 5 avait beaucoup de peine à s'agglomérer dans le moule, même soumis à un battage prolongé.

En somme, si l'on doit persévérer dans l'usage des mortiers damés, il résulte de cette étude que, sauf en ce qui concerne l'emploi d'un pilon spécial, il n'y a aucun intérêt à modifier la définition du mortier sableux normal donnée par le cahier des charges de Boulogne.

2° Mortiers plastiques non damés.

Reste à voir si, comme on l'espérait, l'emploi de mortiers suffisamment mouillés pour présenter après gâchage une consistance liée et plastique comparable à celle des chantiers et être introduits sans battage dans les moules, peut supprimer les écarts de résistance attribués aux différences de tassement du mortier actuel.

Dans ce but, nous avons, conformément aux diverses propositions émises lors de la discussion au Comité d'études, expérimenté des mortiers plastiques à divers dosages fabriqués soit avec le sable normal actuel, soit avec différents mélanges de sables de grosseurs différentes.

Chacun de ces mortiers a été gâché à la truelle sur une table de marbre, comme on fait pour les pâtes de ciment pur, puis introduit dans le moule avec la main ou la truelle. A l'aide du doigt on a fait pénétrer le mortier dans toutes les parties du moule, puis, sans lui faire subir de damage ou de pilonnage spécial, on a égalisé sa surface à la truelle en enlevant l'excédent de matière.

Sable normal 64 - 144 ou 1,5 - 1,0. — Vu l'identité presque complète du sable normal défini par les tamis de 64 et 144 mailles par centimètre carré et du sable restant entre deux tôles perforées à trous de 1 mm. 5 et 1 mm. 0 de diamètre, nous avons réuni ensemble dans les groupes VI, VII et VIII du tableau D les mortiers plastiques non damés fabriqués avec ces sables.

On remarque d'abord, par l'examen de ce tableau, que, à mesure que la teneur des mortiers en ciment augmente, les écarts moyens diminuent, tout en restant pourtant comparables à ceux du mortier normal (groupe III). Quant aux résistances, elles sont nécessairement plus faibles que celles des mortiers damés de même dosage; même celles du mortier plastique 1:2 sont d'environ 2 kilogrammes plus faibles que celles du mortier normal [1].

Il convient de signaler les mauvais résultats fournis par le mortier maigre, qui a été mal lié et difficile à démouler (voir tableau A, essai n° 21). Pendant le gâchage, on a observé qu'une partie de l'eau et du ciment avait une tendance à se séparer du sable, dont les grains réguliers laissent entre eux d'assez larges intervalles.

Cette sorte de liquation, signalée par M. Candlot lors de la discussion générale (8e Séance, p. 18), a été moins marquée avec les mortiers aux dosages 1:3 et 1:2; mais le démoulage de ces mortiers après vingt-quatre heures a généralement présenté quelque difficulté, surtout quand ils avaient été gâchés à l'eau douce.

Sables fins. — On pourrait être tenté d'augmenter la plasticité des mortiers et de diminuer leur tendance à la liquation en remplaçant le sable normal par un sable encore régulier, mais notablement plus fin.

En admettant qu'on n'attache aucune importance à la faiblesse des résistances que donneraient de pareils mortiers à cause de la proportion d'eau assez considérable qu'il faudrait employer pour les gâcher, on peut néanmoins prévoir, par comparaison avec les pâtes de ciment pur (tableau D, groupe I), que les écarts moyens ne seraient pas diminués.

Sables mélangés. — Un autre moyen d'éviter la liquation tout en diminuant le volume des vides du mortier consiste à faire usage d'un sable contenant des grains de plusieurs grosseurs.

Dans notre note au Comité d'études (9e Séance), nous avons signalé comme devant sans doute donner de bons résultats un sable composé, par poids égaux, de trois grosseurs de grains, (3,0 – 2,0), (1,5 – 1,0), (0,75 – 0,50), définies par les diamètres en millimètres des trous des tôles perforées servant à les isoler. Divers mortiers, faits au dosage d'une partie de ciment pour trois de ce mélange, que nous avons appelé α dans les tableaux, ont été réunis dans le groupe IX du tableau D. On voit que, contrairement à nos prévisions, les résultats correspondants n'ont pas été plus concordants que ceux du mortier sableux normal. D'autre part, les résistances ont été beaucoup plus faibles.

D'autres mortiers au dosage 1:3 ont été fabriqués avec un autre mélange sableux appelé β dans les tableaux et composé par poids égaux de deux grosseurs de grains, les uns, un peu plus gros que ceux du sable normal, limités par les tôles à trous de 2,0 et 1,5 mm. de diamètre, les autres, très fins, passant au tamis de 900 mailles et retenus au tamis de 4.900 mailles par centimètre carré. On voit par l'examen du groupe X du tableau D que, si les écarts moyens ont été un peu améliorés, les résistances sont encore beaucoup plus faibles qu'avec le mortier normal.

Sable complet. — Enfin, pour nous rapprocher le plus possible des conditions de la pratique, où l'on emploie des sables contenant généralement des grains de toutes grosseurs, nous avons composé un mélange par poids égaux de trois catégories de grains, gros, moyens et fins, embrassant sans discontinuité toutes les grosseurs possibles depuis la poussière impalpable jusqu'aux plus gros grains auxquels s'applique encore le nom de sable. Chacune de ces catégories a d'ailleurs été définie elle-même comme contenant en parties sensiblement égales trois grosseurs subdivisionnaires.

Le mélange total, appelé γ dans les tableaux, était composé comme il suit :

MÉLANGE γ.

1/3 GROS GRAINS (G) (5,0 – 2,0).		1/3 GRAINS MOYENS (M) (2,0 – 0,50).		1/3 GRAINS FINS (F) (passe 0,50).	
(5,0 – 4,0) (4,0 – 3,0) (3,0 – 2,0)	Tôles perforées à trous de diamètres échelonnés par 1 millimètre.	(2,0 – 1,5) (1,5 – 1,0) (1,0 – 0,50)	Tôles perforées à trous de diamètres échelonnés par 0 mm. 5.	(0,50 – 900) (900 – 4.900) (passe 4.900)	Toiles métalliques adoptées pour le tamisage des ciments.

En raison de sa composition complexe et des grains très fins qu'il contenait, ce mélange sableux a toujours donné des mortiers bien liés, même au dosage maigre de 1 pour 5. Il nous a

[1] Si, parmi les mortiers du groupe III, on ne considère que ceux (nos 22, 23, 39, 42, 45) qui contiennent respectivement les mêmes ciments que les cinq mortiers du groupe VIII, leur résistance moyenne est 20,16, supérieure de 2 kilogrammes à la moyenne 18,02 de ce groupe. On retrouve des écarts analogues en comparant séparément les mortiers faits avec un même ciment (22 et 30, 39 et 40, 42 et 43, 45 et 46).

servi à faire diverses séries d'expériences, dont certaines, qui peuvent se rattacher aux essais des tableaux A et B, sont résumées dans les groupes XI, XII et XIII du tableau D.

Bien que la grosseur de certains de ses grains rendît quelquefois un peu difficultueux le garnissage des moules pour briquettes de traction dans le voisinage des arêtes, les écarts moyens n'ont pas été supérieurs à ceux des autres groupes.

La richesse de ces mortiers en ciment a d'ailleurs été sans influence sur la régularité de leurs résistances.

Enfin on remarque qu'à dosage égal les résistances ont été supérieures (mortiers 1:5 et 1:3) ou sensiblement égales (mortiers 1:2) à celles des mortiers battus.

En résumé, les divers mortiers plastiques étudiés ci-dessus n'ont pas présenté, au point de vue de la régularité des résistances, les avantages qu'on en attendait, puisque les écarts moyens n'ont généralement été diminués que d'une manière insignifiante. On a vu qu'en outre leurs résistances ont presque toujours été bien inférieures à celles des mortiers relativement secs et damés dans les moules.

3° Remarque sur l'évaluation de la proportion d'eau de gâchage.

Il ressort du tableau A que, soit qu'il s'agisse de mortiers secs damés (essais 20, 22, 23, 24, 27, 28) ou de mortiers plastiques (essais 21, 25, 26, 29, 30, et essais 48, 49, 50), les quantités d'eau qui correspondent à une même consistance pour des mélanges en proportions différentes d'un même ciment et d'un même sable ne peuvent généralement pas être exprimées, ainsi que le Comité l'avait souhaité, par la somme de deux nombres respectivement proportionnels aux poids de ciment et de sable employés [1]. Après déduction de l'eau qui correspondrait à la consistance normale du ciment seul, le rapport du reste de l'eau de gâchage au poids du sable est d'autant plus faible que le mortier est plus riche en ciment.

C'est ce que montre la septième ligne du tableau E ci-contre, qui donne ce rapport pour six espèces de mortiers. Chacune des proportions indiquées est la moyenne des nombres calculés, comme il vient d'être dit, pour dix-huit mortiers de même dosage, faits avec des agglomérants différents et pour lesquels on avait déterminé expérimentalement la quantité d'eau paraissant le mieux convenir.

Par contre, la proportion d'eau calculée pour le sable dans chaque groupe de mortiers de même richesse a généralement varié assez peu d'un ciment à l'autre.

Il y aurait donc peut-être lieu d'adopter, suivant la consistance et le sable choisis, un coefficient spécial pour chaque dosage. Dès lors, le plus simple serait d'indiquer, puisque les poids de sable et de ciment à prendre pour chaque gâchée seront connus, la quantité d'eau fixe qu'il faudrait, suivant le dosage, ajouter à celle qui correspond à la consistance normale du ciment seul.

Nous avons fait l'essai de cette méthode à cinq composés hydrauliques de natures aussi différentes que possible, en adoptant pour les mortiers comprimés les poids constants de 50, 30 et 10 grammes, voisins de ceux qu'on déduit des moyennes précédentes. Pour les trois mortiers plastiques au mélange sableux γ, vu le peu de différence des proportions moyennes 10,64, 10,25 et 9,73, nous avons adopté la proportion 10 p. 100 et cherché si, dans ce cas spécial, la loi de proportionnalité n'était pas applicable.

Les consistances des mortiers obtenus pour les deux séries d'essais sont indiquées dans le tableau E, où les mentions « un peu sèche » et « un peu molle » désignent des consistances différant légèrement de celle qui paraîtrait le mieux convenir, mais pourtant encore acceptables. Les résultats obtenus vérifient bien la loi admise pour les mortiers battus au sable 1,5-1,0, moins bien celle relative aux mortiers plastiques au mélange sableux γ.

---

[1] Au sujet des proportions d'eau correspondant à la consistance plastique des mortiers, voir le chapitre IV de notre mémoire sur la compacité des mortiers hydrauliques. (*Annales des Ponts et Chaussées*, juillet 1892.)

Tableau E.

Recherches sur la proportion d'eau à adopter pour le gâchage.

		SABLE (1,5–1,0). — MORTIERS BATTUS à la spatule.			MÉLANGE γ. — MORTIERS PLASTIQUES NON BATTUS. (gâchés pendant cinq minutes).		
	Dosage.....	1:5.	1:3.	1:2.	1:5.	1:3.	1:2.
Poids de matière sèche par gâchée.	Ciment.....	165 } 990	250 } 1000	333 } 999	165 } 990	250 } 1000	333 } 999
	Sable.....	825	750	666	275×3	250×3	222×3
Eau servant à mouiller le sable [1].	Moyenne de 18 essais préliminaires...	5,67 p. 100 = 47 g.	4,28 p. 100 = 32 g.	1,21 p. 100 = 8 g.	10,64 p. 100 = 88 g.	10,25 p. 100 = 77 g.	9,73 p. 100 = 65 g.
	Poids essayé..	50 g.	30 g.	10 g.	10 p. 100.	10 p. 100.	10 p. 100.

NATURE DES PRODUITS.	PROPORTION D'EAU correspondant à la consistance normale de la pâte de ciment pur.	CONSISTANCES OBTENUES.					
	p. 100.						
Cim^ts portl. Gr. mout^re.	21,0	Bonne.	Un peu sèche.	Un peu sèche.	Un peu sèche.	Un peu sèche.	Un peu sèche.
Cim^ts portl. Moy. mout^re	24,5	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Un peu sèche.	Bonne.	Bonne.
Cim^ts portl. Fine mout^re	28,0	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Bonne.
Ciment de laitier..	37,0	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Bonne.
Chaux hydraulique.	44,0	Bonne.	Bonne.	Bonne.	Un peu molle	Un peu molle	Molle.

[1] Cette quantité d'eau est calculée après déduction de l'eau correspondant à la consistance normale du poids de ciment pur entrant dans le mortier. Si, par exemple, un mortier contenant 165 grammes de ciment et 825 grammes de sable (1,5–1,0) a exigé 92 grammes d'eau pour être amené à une consistance convenable, et que la proportion d'eau correspondant à la consistance normale du ciment pur soit de 26 p. 100, le poids d'eau qu'exigeraient 165 grammes de ciment est 43 grammes, de sorte qu'il reste 92 — 43, soit 49 grammes d'eau pour le sable. Le poids 47 grammes indiqué dans le tableau est la moyenne des poids ainsi calculés pour 18 mortiers faits avec divers agglomérants exigeant, pour être gâchés purs, des proportions d'eau très différentes. Ce poids représente 5,67 p. 100 de celui du sable.

Nous avons reconnu par d'autres expériences que les poids d'eau calculés comme il vient d'être dit pour les mortiers normaux battus à la spatule convenaient également bien au cas où l'on damait les mêmes mortiers au moyen du pilon décrit plus haut.

On remarque que, quel que soit le mode de battage que l'on adopte, la proportion d'eau qui, d'après le tableau, correspond au mortier normal 1:3, est, pour les ciments portlands, un peu inférieure à celle (en général 10 ou 10,5 p. 100 du poids total de matière sèche) qu'actuellement on emploie le plus habituellement dans les laboratoires français. Par exemple, avec un ciment exigeant 24 p. 100 de son poids d'eau pour être gâché en pâte pure de consistance normale, il faudra, d'après le tableau, $0,24 \times 250 + 30$ ou 90 grammes d'eau, soit 9 p. 100 du poids total de matière sèche entrant dans le mortier.

Si l'on augmentait la valeur du poids additionnel que nous avons fixé à 30 grammes, les mortiers obtenus avec des agglomérants exigeant de fortes proportions d'eau pour être gâchés en pâte pure de consistance normale seraient trop mous pour être convenablement battus.

Nous avons d'ailleurs constaté que les mortiers obtenus en calculant l'eau d'après la nouvelle règle, bien qu'un peu plus secs que les anciens, se damaient encore très bien, surtout lorsqu'on faisait usage du pilon. Ils ont en outre l'avantage de donner des résistances un peu plus fortes.

Nous croyons donc qu'il n'y a pas d'inconvénient à adopter la règle indiquée, qui s'applique indistinctement à toutes les espèces d'agglomérants.

IV. — CHOIX D'UN MORTIER.

Le tableau F ci-dessous, extrait du tableau D, met en regard des résultats trouvés pour le mortier normal actuel ceux des principaux types de mortiers plastiques non battus qu'on pourrait être tenté de lui substituer.

Tableau F.

Résumé des résultats trouvés pour quelques mortiers.

NATURE DES MORTIERS.		NUMÉRO du groupe correspondant dans le tableau D.	ESSAIS À LA TRACTION. Résistance moyenne après 4 semaines (arrondie).	Écart moyen des résistances correspondant à un même opérateur.	Écart moyen des moyennes de six opérateurs différents.
			kg. par cm².	p. 100.	p. 100.
Mortier normal actuel	battu à la spatule.....	III.	18 (1)	7,6	11,4
	damé au pilon à main.....	III *bis*.	24 (2)	6,5	7,4
Mortiers plastiques non battus.	1 ciment + 2 sable normal.	VIII.	18	7,0	7,2
	1 ciment + 3 mélange β...	X.	10	8,2	6,5
	1 ciment + 3 mélange γ...	XII.	19	7,8	"

Il ressort de ce tableau, ainsi que de la discussion générale qui précède, qu'en somme aucun des nouveaux mortiers n'a, dans les conditions où il a été étudié, donné lieu à des écarts nettement inférieurs à ceux que l'on constate soit dans les épreuves au ciment pur, soit dans celles au mortier sableux normal, surtout quand on dame ce mortier avec le pilon.

Si donc le Comité n'a d'autre but que de régulariser les essais afin de rendre plus comparables les résistances obtenues, soit par un même opérateur, soit par des opérateurs différents, il est évidemment inutile d'aller plus loin, et le maintien de la méthode actuelle s'impose.

Mais l'une des principales raisons qui l'ont porté à souhaiter en principe la substitution des mortiers plastiques non battus aux agglomérés qu'on obtient en damant énergiquement des mélanges simplement humides de ciment et d'un sable à grains uniformes a été le désir de rendre les mortiers d'essai plus semblables à ceux de la pratique. En effet, bien que les essais de laboratoire soient destinés, non à faire prévoir les résistances que chaque mortier devra acquérir dans les maçonneries, mais à comparer les échantillons de ciments à des types connus ayant déjà fait leurs preuves, il est clair que cette comparaison inspirera d'autant plus de confiance qu'elle portera sur des mortiers plus voisins de ceux qu'on emploie couramment sur les chantiers.

D'autre part, le Comité d'études a cru devoir indiquer des méthodes pour un grand nombre d'essais nouveaux auxquels on peut soumettre les mortiers, et dont beaucoup (porosité, perméabilité, etc.), à peu près inutiles si on les applique à des agglomérés, peuvent au contraire présenter un grand intérêt pour la comparaison de mortiers assimilables à ceux de la pratique. Il pourrait donc sembler illogique de préconiser, d'une part, pour ces divers essais et, de l'autre, pour ceux de résistance, l'emploi de mortiers présentant des caractères essentiellement différents.

Les mortiers du groupe VIII, dosés à raison d'une partie de ciment pour deux de sable normal, sont, et par leur extrême richesse en ciment, et par la régularité de leur sable, aussi éloignés que possible de ceux de la pratique, avec lesquels ils n'ont de commune que leur consistance plastique. Comme, d'autre part, ils ne donnent guère de résultats plus réguliers que le mortier normal, il n'y a aucune raison de les lui substituer.

De même, les mortiers du groupe X, qui contiennent une partie de ciment pour trois parties d'un mélange composé de deux sables uniformes de grosseurs très différentes, ne rappellent que de fort loin ceux que le Comité avait en vue. Ils ne fournissent pas de résultats plus réguliers que les précédents et ont en outre l'inconvénient de donner des résistances relativement très faibles. Nous ne croyons pas devoir les proposer davantage.

Quant à ceux du groupe XII (comme aussi ceux des groupes XI et XIII), la complexité de leur sable, leur consistance bien liée (même aux dosages maigres) et leurs résistances assez élevées les désignent comme satisfaisant dans une certaine mesure aux conditions requises. Toutefois, vu les gros grains de sable qu'ils contiennent, et dont nous considérons la présence comme une condition indispensable du problème proposé, ces mortiers ne se prêtent pas très bien au garnissage des moules relativement petits actuellement en usage, et l'on peut craindre

(1) Voir le renvoi de la page 79.

(2) L'un des ciments ayant contribué à cette moyenne était un ciment de fine mouture ayant donné une très forte résistance.

que la répartition des grains dans les différentes parties de chaque briquette présente quelques irrégularités. Il n'est pas douteux qu'avec des éprouvettes de dimensions plus grandes, les écarts correspondant à ces mortiers, qui déjà ne sont pas supérieurs aux autres, seraient bien diminués.

En résumé, les mortiers plastiques à sable complet semblent répondre mieux que les autres aux desiderata formulés plus haut, mais exigeraient, pour être essayés dans les meilleures conditions, l'emploi de moules différant des types actuellement en usage.

D'un autre côté, le mortier normal actuel a pour lui l'avantage de la situation acquise, attendu qu'il est aujourd'hui devenu d'un usage à peu près universel.

Certainement sa fabrication présente quelques différences suivant les pays et les réglementations : ici on emploie un sable artificiel, là, un sable naturel; tel programme prescrit officiellement le battage à la main, tel autre, un dispositif mécanique; déjà même, plusieurs pays ont adopté un sable à deux grosseurs de grains, et nous venons d'apprendre qu'actuellement une importante association étrangère songeait à porter à trois le nombre des sables divisionnaires entrant dans la composition du sable normal destiné à certains essais.

Mais, à ces légers écarts près, on retrouve partout la même méthode, dont le principe fondamental consiste à damer énergiquement des mortiers aussi peu mouillés que possible.

Aussi croyons-nous qu'on ne saurait modifier une pratique aussi généralement établie sans être absolument sûr de celle qu'on se propose de lui substituer.

Aujourd'hui tous les laboratoires ont acquis peu à peu des habitudes de travail et des tours de main appropriés à un genre particulier d'essais, ciment pur et mortier normal, prescrits par les cahiers des charges; les appareils et les moules qu'on y emploie ont été imaginés spécialement en vue de ces essais, et rien ne prouve que ces habitudes, ces appareils et ces moules conviendront également pour les mortiers plastiques. Il y a donc toute une étude à entreprendre avant d'adopter définitivement ces mortiers, et elle ne peut être l'œuvre de quelques semaines.

Dès lors, écartant *a priori* toute demi-mesure, attendu qu'une pareille solution ne saurait être que temporaire, nous proposons de conserver purement et simplement la méthode actuelle, sauf quelques légères modifications signalées plus haut, mais en émettant le vœu qu'on s'occupe de lui substituer le plus tôt possible des essais exécutés sur des mortiers plus semblables à ceux de la pratique[1].

V. — AVIS DU SOUS-COMITÉ.

Après avoir entendu la lecture du rapport qui précède et en avoir délibéré, le Sous-Comité a, conformément aux propositions du rapporteur, admis qu'il n'y avait pas lieu *pour le moment* de modifier la nature et la composition du mortier normal actuel.

En ce qui concerne le mode de damage à adopter comme normal, le Sous-Comité a pensé que, bien que l'emploi du pilon à main guidé paraisse devoir donner des résultats satisfaisants, cependant les expériences faites avec cet outil n'étaient pas assez nombreuses pour qu'on pût encore l'adopter d'une manière définitive[2].

En conséquence, il a proposé de formuler comme il suit l'*ensemble* des règles relatives à la fabrication du mortier sableux normal à employer pour l'essai des ciments à prise lente, mais en reconnaissant toutefois que le type de mortier visé présente encore certains inconvénients et souhaitant que de nouvelles recherches fussent entreprises en vue de lui substituer ultérieurement un mortier plastique, non damé, fait avec un sable bien défini à grains de diverses grosseurs, en un mot plus semblable aux mortiers de la pratique.

---

[1] Dans un appendice inséré à la suite de ce rapport, nous exposons, en les appuyant de quelques expériences, diverses idées générales relatives aux recherches à entreprendre.

[2] Pour les nouveaux essais à faire au moyen du pilon à main, il conviendrait d'adopter d'une manière uniforme les règles suivantes, qui devraient d'ailleurs, au cas où le Comité d'études croirait pouvoir dès à présent se prononcer en faveur de cet outil, être, dans les conclusions proposées ci-après, substituées à l'ensemble des quatre paragraphes commençant à « On placera sur un support..... » et se terminant par « ..... le couteau appuyé sur les bords du moule » :

On placera sur un support inébranlable une plaque de métal poli et on y posera l'un des moules; on surmontera ce moule d'un couloir vertical haut de 0 m. 125, présentant intérieurement le même contour que la briquette et disposé de manière à empêcher le moule de s'ouvrir par suite de la compression du mortier.

On introduira dans le couloir 180 grammes de mortier qu'on répartira grossièrement dans le moule avec une tige.

Au moyen d'un pilon métallique du poids de 1 kilogramme, dont la base aura la forme de la briquette avec des dimensions un peu moindres, on battra le mortier doucement d'abord, puis de plus en plus fort, jusqu'à ce qu'on voie un peu d'eau s'échapper par éclaboussage entre la partie inférieure du moule et la plaque métallique.

On écartera successivement le couloir et le pilon, puis, au moyen d'une truelle à bord bien droit, on enlèvera avec soin le trop-plein du moule, et on lissera la surface du mortier.

VI. — CONCLUSIONS PROPOSÉES.

A titre de mesure provisoire, le mortier de ciment et de sable normal avec lequel seront faits les essais de résistance par traction, puis par compression, sera obtenu comme il suit :

Le mortier sera composé en poids d'une partie de ciment et de trois parties de sable normal[1].

Chaque gâchée comprendra la quantité de mortier nécessaire pour faire six briquettes avec un léger excédent. On emploiera 250 grammes de ciment et 750 grammes de sable normal.

Le poids d'eau à employer pour mouiller ce mélange excédera de 30 grammes le quart du poids qui serait nécessaire pour amener un kg. de ciment à l'état de pâte à consistance normale.

Les moules à briquettes et les appareils d'essai seront les mêmes que pour les essais au ciment pur.

Au moment du mélange, le ciment, le sable, l'eau et l'air ambiant seront à des températures comprises entre 15 et 18 degrés.

On fabriquera les briquettes d'essai de la manière suivante :

Ayant préparé six moules préalablement bien nettoyés et frottés d'un linge gras, on pèsera 250 grammes de ciment et 750 grammes de sable normal, que l'on mélangera intimement à sec dans une cuvette, avec une cuiller. On y ajoutera la quantité d'eau définie plus haut, puis on remuera toute la masse avec la cuiller pendant cinq minutes, comptées à partir du moment où l'eau aura été versée.

On placera sur un support inébranlable une plaque de marbre ou de métal poli et on y posera les moules, dans lesquels on introduira le mortier en quantité suffisante pour qu'il fasse encore saillie au-dessus des bords après le damage. Celui-ci ne pourra commencer qu'après que le moule aura été complètement rempli.

On damera le mortier dans le moule avec une spatule en fer longue de 0 m. 35 environ, manche compris, présentant une surface de battage de 20 centimètres carrés et pesant 250 grammes.

On procédera d'abord par petits coups répétés sur le pourtour de la briquette, puis au centre; on frappera ensuite plus énergiquement, en suivant toujours le même chemin, et on continuera le damage jusqu'à ce que la masse commence à prendre un peu d'élasticité et que l'eau sue à la surface.

On enlèvera alors avec précaution le trop-plein du moule avec une lame de couteau bien droite, et on lissera la surface en promenant le couteau appuyé sur les bords du moule.

Lorsque le mortier sera suffisamment durci, on desserrera les moules et on les enlèvera sans soulever les briquettes ni leur faire quitter la plaque.

Pendant les vingt-quatre premières heures qui suivront la fabrication du mortier, les briquettes seront conservées sur leur plaque, dans une atmosphère saturée d'humidité, à l'abri des courants d'air et des rayons directs du soleil, à une température maintenue entre 15 et 18 degrés. Puis elles seront placées dans le milieu où l'on se proposera de les conserver jusqu'à la rupture.

Au cas où l'on voudrait faire en outre des essais avec des mortiers à dosages différents, il est recommandé de donner d'abord la préférence aux deux mortiers contenant en poids respectivement une partie de ciment pour deux parties de sable normal et une partie de ciment pour cinq parties de sable normal.

Si l'on désire étudier encore d'autres dosages, il est recommandé de les choisir tels que les poids de sable soient des multiples simples du poids de ciment.

Pour chaque gâchée du mortier à une partie de ciment pour deux de sable, on pèsera 333 grammes de ciment et 666 grammes de sable normal, et le poids d'eau à employer excédera de 10 grammes celui qui correspondrait à la consistance normale des 333 grammes de ciment pur.

Pour chaque gâchée du mortier à une partie de ciment pour cinq de sable, on pèsera 165 grammes de ciment et 825 grammes de sable normal, et le poids d'eau à employer excédera de 50 grammes celui qui correspondrait à la consistance normale des 165 grammes de ciment pur.

Pour ces divers mortiers, le mélange des matières, le remplissage des moules et le démoulage seront pratiqués suivant les règles indiquées ci-dessus pour le mortier 1 : 3.

Boulogne-sur-Mer, le 26 décembre 1892.

R. FERET.

---

[1] La définition du sable normal a été l'objet d'un rapport spécial.

APPENDICE.

CONSIDÉRATIONS SUR LES ESSAIS DE MORTIERS PLASTIQUES À SABLES COMPLETS.

Chargé par le Sous-Comité de rechercher quels moyens on pourrait employer pour rendre les mortiers d'essai plus semblables à ceux de la pratique, nous avons cru, faute d'essais suffisamment nombreux et prolongés faits sur des mortiers plastiques à sables mélangés, devoir conclure au maintien provisoire des mortiers battus à sable uniforme, tout en souhaitant que de nouvelles études fussent entreprises dans le même but.

Cependant, nous n'avons pas voulu restituer la question intacte en nous contentant de formuler des vœux stériles, et nous avons entamé, en vue d'explorer la voie à suivre, diverses expériences dont nous demandons la permission d'exposer rapidement les premiers résultats accompagnés de quelques considérations générales qui s'en dégagent.

Il est bien entendu, d'ailleurs, que ce ne sont là que des idées de premier jet, susceptibles d'être modifiées à la suite de nouveaux essais, et sur le détail desquelles nous ne croyons pas que le Comité ait à se prononcer pour le moment.

CONSISTANCE DES MORTIERS.

Le problème à résoudre étant de choisir et de définir des mortiers d'essai comparables à ceux de la pratique, la première condition qu'ils devront remplir sera d'avoir une consistance analogue à celle de ces derniers, ce qui entraînera nécessairement l'emploi d'une proportion d'eau de gâchage supérieure à la proportion actuelle et la suppression du damage.

SABLE NORMAL.

En second lieu, il sera nécessaire que le sable servant à les fabriquer soit composé, comme les sables de la nature, de grains de grosseurs variées, depuis les plus fins jusqu'à ceux qu'il est encore permis d'appeler des grains de sable. Nous proposons dès à présent de réserver le nom de sable à tous les grains pouvant traverser par tamisage une tôle à trous de 5 millimètres de diamètre, et d'adopter comme sable normal un mélange de trois grosseurs définies comme il suit par les diamètres en millimètres des trous des tôles perforées servant à les séparer :

Sable élémentaire normal G (gros) : passe 5,0, reste 2,0 ;

Sable élémentaire normal M (moyen) : passe 2,0, reste 0,50 ;

Sable élémentaire normal F (fin) : passe 0,50.

Comme chacun de ces sables élémentaires contient lui-même des grains de grosseurs assez éloignées dont les proportions peuvent exercer une certaine influence sur les propriétés des mortiers, il sera utile de définir approximativement la composition de ces sables, en spécifiant que chacun d'eux devra contenir, en proportions pondérables à peu près égales, trois grosseurs subdivisionnaires correspondant, pour les sables G et M, à des diamètres de trous variant respectivement par 1 millimètre et par 1/2 millimètre, et, pour le sable F, aux tamis de 900 mailles et 4.900 mailles par centimètre carré adoptés déjà pour les ciments[1]. (Voir p. 79 la définition du mélange γ.)

Il n'est pas à craindre que ces conditions compliquent beaucoup la fabrication des trois sables élémentaires normaux, et quelques expériences qu'on a bien voulu nous laisser faire à l'usine de Boulogne nous portent à croire qu'après peu de tâtonnements on pourrait régler la mouture de manière à les obtenir du premier coup avec une composition satisfaisante.

D'autre part, on n'aura pas à s'en préoccuper dans les essais, attendu que, s'il est donné suite au vœu du Comité, chaque fourniture de sable sera livrée contrôlée par l'Administration.

---

[1] Le commerce ne fournit pas de tôles perforées assez fines pour ces grosseurs de grains.

COMPOSITION DES MORTIERS D'ESSAI.

Il n'y a pas lieu pour le moment d'indiquer les proportions dans lesquelles les trois sables élémentaires pourront ou devront être mélangés [1].

On ne peut davantage fixer actuellement la ou les richesses à adopter pour les mortiers d'essai. Il serait à souhaiter que le nombre en fût aussi limité que possible et qu'on pût même s'affranchir des essais au ciment pur, dont les pâtes ne présentent qu'une analogie fort lointaine avec les mortiers de chantier [2].

Des travaux récents permettent d'espérer qu'on arrivera peut-être à prévoir, d'après les résistances d'un très petit nombre de mortiers fabriqués avec un même composé hydraulique, celles de tous les mortiers possibles obtenus par le mélange de ce composé et de divers sables, sinon d'une manière absolument rigoureuse, du moins avec une approximation suffisante pour les besoins de la pratique.

NATURE DES ÉPREUVES.

Les nombreux genres d'essais prévus par le Comité d'études sont pour la plupart applicables aux mortiers sableux, notamment aux mortiers plastiques. Il y aura donc lieu d'examiner si les dispositions adoptées pour chacun conviennent toujours à ces mortiers.

En outre, bien que pour le moment le Comité n'ait pas cru devoir attribuer un ordre de préférence à ces divers essais, il sera bon que les recherches entreprises tendent à montrer dans quels genres d'épreuves les nouveaux mortiers seront susceptibles de fournir les indications les plus caractéristiques, de manière à faciliter la distinction prévue pour plus tard entre les essais simples pouvant être recommandés pour le contrôle courant des fournitures et ceux qui présentent un caractère plus scientifique.

FORMES ET DIMENSIONS DES ÉPROUVETTES.

Les formes et les dimensions actuelles des éprouvettes ont été déterminées en vue des pâtes de ciment pur et des mortiers au sable 64-144, et il est douteux que toutes conviennent pour des mortiers contenant, comme ceux que nous visons, des grains de sable beaucoup plus gros.

D'autre part, il serait désirable de réduire, en faisant servir un même type d'éprouvettes à divers essais, le matériel considérable qu'exigeront les nombreux genres d'expériences prévus par le Comité [3].

Enfin l'exécution d'essais multiples, presque toujours inutile, croyons-nous, pour les épreuves de réception, ne présente d'intérêt pour les recherches scientifiques qu'autant que les diverses qualités du mortier qu'on étudie sont mesurées sur des échantillons non seulement fabriqués, mais aussi ayant durci dans des conditions identiques, et l'on sait que l'action du milieu ambiant ne s'exerce de la même manière que sur des éprouvettes de même forme et de mêmes dimensions.

Il sera donc triplement nécessaire de modifier la forme et les dimensions de la plupart des moules en tâchant d'uniformiser ceux-ci le plus possible.

Il est évident que, quel que soit le sable employé, plus l'éprouvette sera grosse, plus elle sera homogène, par suite de la meilleure répartition du mortier, et plus faibles seront aussi les erreurs dues aux variations de section pouvant provenir de l'usure ou de l'encrassement du moule. Mais une exagération de ses dimensions aurait l'inconvénient de consommer de trop grandes quantités de matière, de multiplier des gâchées à faire pour obtenir un même nombre d'éprouvettes, d'exiger pour la conservation de celles-ci une place considérable, et enfin de nécessiter des machines d'essai plus puissantes.

Partant de là, il nous a paru convenable, étant donnée la grosseur maximum des grains du sable défini plus haut, d'adopter 4 centimètres pour la plus petite dimension des blocs d'essai.

Nos expériences ont été faites comparativement avec les types actuels d'éprouvettes et avec des blocs prismatiques ou cubiques de 4 centimètres de côté qui, à notre avis, pourraient se prêter à la

---

[1] On conçoit que, pour certains essais, notamment lorsqu'il s'agira d'étudier les propriétés d'un sable naturel donné, on pourra être amené par exemple à comparer des mortiers dans lesquels une même proportion d'un même ciment sera combinée d'une part avec le sable donné et d'autre part avec un mélange dans lequel les trois sables élémentaires normaux seront associés dans les mêmes proportions que les grosseurs correspondantes dans le sable à étudier.

[2] En particulier il semble admis à peu près généralement aujourd'hui qu'il n'y ait pas à attacher une bien grande importance aux chutes de résistance à la traction subies souvent après quelques mois par le ciment pur immergé à l'eau de mer.

[3] Si l'on passe en revue ces divers essais, on constate que le nombre des types d'éprouvettes adoptés est d'au moins dix, ainsi qu'il résulte du tableau ci-dessous :

Essais de traction	Briquettes en 8 à section de 5 centimètres carrés.
Essais de compression	Mêmes briquettes; cylindres de 45 millimètres de diamètre et 22 millimètres de hauteur, plus, éventuellement, mêmes blocs que pour les pierres et autres matériaux.
Essais de flexion	Prismes.
Essais d'adhérence	Briquettes de forme spéciale (section de rupture = 10 cm.²).
Essais de porosité	?
Essais de perméabilité	Cylindres de 0 m. 10 de diamètre et 0 m. 05 de hauteur.
Essais d'invariabilité de volume (ciment pur)	Galettes; baguettes de 0 m. 012 × 0 m. 012 × 0 m. 80; cylindres de 0 m. 03 de diamètre et 0 m. 03 de hauteur.
Essais de décomposition par l'eau de mer	Cubes à faces de 50 centimètres carrés.

plupart des essais prévus par le Comité. Le tableau G ci-après rend compte d'un certain nombre d'entre elles.

On remarque immédiatement, même en ne tenant compte que d'un seul type d'éprouvettes pour chaque mode d'application de l'effort, combien la multiplicité des nombres obtenus, soit qu'on ait fait varier la richesse des mortiers, leur milieu de conservation ou la nature de l'épreuve, rend complexe et difficile l'appréciation de la qualité du ciment.

Cet exemple nous paraît démontrer mieux que tout raisonnement la nécessité de réduire au strict minimum le nombre des épreuves de réception, sous peine d'arriver à des résultats contradictoires et de mettre le fabricant dans l'impossibilité de satisfaire à toutes les conditions.

Néanmoins, il est utile d'examiner tous les genres d'essais et de chercher à les unifier en vue des expériences de laboratoire.

Essais de rupture par flexion. — Le type de prismes de 2 centimètres de côté proposé par M. Durand-Claye pour les essais au ciment pur ne saurait, en raison de son exiguïté, convenir pour les essais de mortiers contenant des grains de sable de toutes grosseurs.

Nous avons obtenu de bons résultats avec des prismes de 0 m. 04 × 0 m. 04 × 0 m. 16 placés, comme ceux de 0 m. 02 × 0 m. 02, sur deux couteaux à arête mousse distants de 0 m. 10, tandis qu'un autre couteau, appliqué à égale distance des deux premiers, était tiré par l'appareil d'essai.

On constate que l'écart moyen relatif des petits prismes (7,92) est supérieur à celui des gros (6,65) et que la moyenne des résistances par centimètre carré de ceux-ci, après qu'on a ramené à 100 les résistances des premiers, est précisément égale à 100.

Essais de rupture par compression. — Les essais faits sur des cubes de 0 m. 04 de côté ont donné des résistances par centimètre carré supérieures en moyenne de 8 p. 100 à celles des cubes à faces de 50 cm.² employés ordinairement. Ainsi qu'on devait le prévoir [1], l'écart moyen relatif des petits cubes a été plus fort (6,15) que celui des gros (2,91).

Nous avons aussi essayé à la compression les demi-gros prismes précédemment essayés à la flexion. A cet effet, ces demi-prismes étaient placés en croix entre deux plaques d'acier parallèles, mesurant exactement 0 m. 04 de largeur, de sorte que la pression s'exerçait, comme pour les petits cubes, sur une surface de 0 m. 04 × 0 m. 04. La résistance moyenne a été sensiblement la même (plus forte de 5 p. 100) que celle des petits cubes, et l'écart moyen a été du même ordre (6,15 pour les petits cubes et 5,75 pour les demi-gros prismes). L'emploi de ce système permettrait d'économiser une série d'éprouvettes.

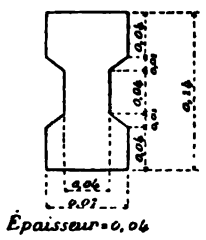


Fig. 1.

Essais de rupture par traction. — En vue d'opérer sur des éprouvettes de même section que les prismes de flexion et les cubes ou les demi-prismes de compression, nous avons confectionné, en même temps que les briquettes en 8 employées actuellement, des briquettes à section minimum de 0 m. 04 × 0 m. 04, de l'un des types autrefois en usage (fig. 1). Malgré la défectuosité de la machine employée pour les casser, ces grosses briquettes ont donné, toujours en vertu du même principe de la meilleure répartition des grains, un écart moyen (7,49) un peu inférieur à celui des petites (8,46). Conformément à une loi bien connue, leurs résistances ramenées au centimètre carré ont été notablement inférieures à celles des petites briquettes (100 et 146).

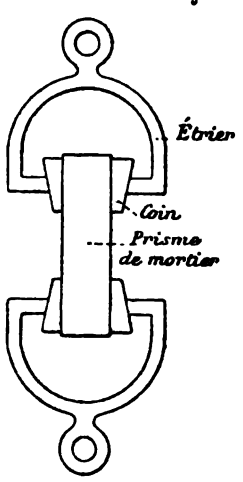


Fig. 2.

Les grosses briquettes ont l'inconvénient d'être très volumineuses et de se casser le plus souvent entre les griffes de la machine d'essai. Nous avons cherché à leur substituer des prismes de 0 m. 04 × 0 m. 04 × 0 m. 16 identiques à ceux que nous employions pour les essais par flexion. La difficulté était de trouver des griffes capables de les saisir. Nous avons assez bien réussi en employant un système d'étriers et de coins représenté schématiquement par la figure 2 ci-contre, et tel que la traction eût pour effet de presser les coins contre les faces du prisme. Malgré la rusticité et l'incommodité de l'appareil dont nous nous sommes servi à titre de première tentative, l'écart moyen relatif des résistances obtenues n'a pas été par trop considérable (10,95), et ces résistances n'ont guère différé de celles des grosses briquettes [2] (elles leur ont été supérieures de 4 p. 100 en moyenne).

Nous étudions actuellement un système de pinces dont la partie destinée à saisir le prisme présente en coupe la forme indiquée par

[1] Ce résultat tient à la meilleure répartition du mortier dans les gros cubes et surtout à la difficulté plus grande de centrer les petits avec la machine qui nous a servi pour la rupture. Nous faisons actuellement construire un support qui permettra de centrer exactement les demi-prismes ainsi que les deux plaques métalliques entre lesquelles ils sont placés.

[2] Les résultats ont paru être sensiblement les mêmes, soit qu'on saisit chaque extrémité du prisme par quatre coins appliqués sur ses quatre faces ou seulement par deux coins appliqués sur deux faces opposées.

la figure 3, de manière à s'appuyer à la fois sur deux faces voisines. Il y a lieu de prévoir que, grâce à cette disposition, les efforts de flexion pouvant résulter d'un accrochage dyssymétrique passeront par un des plans diagonaux du prisme, ce qui diminuera sans doute leur influence nuisible. Il conviendra de déterminer la longueur des plans d'appui et leur nature (acier strié comme une lime ou recouvert d'un corps compressible convenablement choisi et facile à renouveler), la longueur de la portion de prisme à laisser libre entre les deux paires de griffes, etc. On pourra même, sans doute, disposer l'appareil de manière à essayer, au lieu de prismes entiers, les moitiés des prismes déjà rompus par flexion, de sorte qu'un même prisme servirait à la fois pour trois essais : flexion, compression et traction.

Fig. 3.

Il est inutile d'insister sur les avantages que présenterait l'emploi de prismes pour les essais de traction : simplicité et facile définition des éprouvettes et des moules employés à leur fabrication, suppression des ruptures provenant de retraits pendant la prise, commodité du démoulage, etc.

Essais par choc. — On pourrait remplacer, dans les essais de flexion, de compression ou de traction, l'effort continu par des chocs, et mesurer, par exemple, le nombre de chocs d'une intensité donnée nécessaire pour produire la rupture. Les éprouvettes à employer pour ces essais seraient évidemment les mêmes que pour les mêmes essais par charge continue.

Nous relatons à titre de curiosité dans le tableau G les résultats de quelques expériences par choc-compression exécutées, au moyen du mouton de l'appareil Tetmajer à battre les cubes, sur des demi-prismes essayés préalablement à la flexion ou à la traction.

Une difficulté des essais de choc-compression consiste à apprécier l'instant où le bloc doit être considéré comme rompu. Les essais de choc-flexion seraient sans doute plus commodes à cause de la simplicité des appareils qu'ils exigeraient et des poids relativement faibles qu'il suffirait de faire agir [1].

On pourrait faire encore des essais de choc-désagrégation au moyen d'explosifs exactement dosés.

Enfin on pratique, à l'usage des travaux militaires, des expériences par choc-poinçonnage, sous forme de coups de canon tirés contre des maçonneries d'essai.

Essais d'adhérence. — Les essais d'adhérence que l'on a tentés jusqu'ici (voir rapport de M. Candlot, page 281) ont toujours porté sur de petites briquettes dont les deux moitiés, collées ensemble au moyen

[1] Le tableau ci-dessous, dans lequel chaque nombre est la moyenne d'environ quatre essais, rend compte de quelques expériences de choc-flexion. Les moyennes entre parenthèses correspondent à des résultats présentant entre eux des écarts assez considérables. Dans tous ces essais on a opéré sur des prismes de 0 m. 04 de côté reposant sur deux couteaux distants de 0 m. 10, à mi-distance desquels un autre couteau, posé sur la face supérieure du prisme, recevait le choc produit par la chute verticale d'un mouton.

MORTIERS gâchés à consistance plastique et immergés à l'eau de mer depuis 12 semaines.		ESSAI PAR CHARGE continue. Effort total nécessaire pour produire la rupture par flexion.	ESSAIS PAR CHOC. Nombre moyen de coups de mouton égaux nécessaire pour produire la rupture par flexion. Hauteur de chute en mètres : 0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	Nombre moyen de coups de mouton de hauteur croissant uniformément par 0 m. 05 à partir de 0 m. 05, nécessaire pour produire la rupture par flexion.
		kg.								
			Mouton pesant 2 kilogrammes.							
Même ciment portland et mélange sableux γ. (Quartzite moulu 1/3 G + 1/3 M + 1/3 F.)	Dosage 1 : 5.	137	3,2	1,2	"	"	"	"	"	"
	Dosage 1 : 3.	218	(25,7)	(6,5)	1,3	"	"	"	"	"
	Dosage 1 : 2.	269	"	11,2	2,7	1,0	"	"	"	"
	Ciment pur.	564 (?)	"	"	"	9,6	4,0	3,0	"	"
			Mouton pesant 0 kg. 500.							
Autre ciment portland et sable naturel (de Saint-Malo).	Dosage 1 : 5.	87	(37,3)	5,2	1,8	1,2	"	"	"	3,5
	Dosage 1 : 3.	125	"	(20,8)	4,2	2,3	2,0	1,0	"	5,5
	Dosage 1 : 2.	187	"	"	(27,6)	9,2	5,0	4,0	2,8	8,0

du mortier d'épreuve, étaient ensuite séparées par traction. La difficulté de ces essais consiste en ce que l'effort n'est jamais absolument normal au plan de jonction, de sorte qu'en réalité, la rupture a lieu le plus souvent dès que, par l'effet d'une légère flexion, le décollement commence à se produire sur un des bords de la surface de séparation des deux demi-briquettes.

Outre que le type actuel de briquettes serait trop petit pour permettre l'emploi des nouveaux mortiers d'essai, nous croyons qu'on éviterait la cause d'erreurs qui vient d'être signalée en opérant franchement par flexion. L'éprouvette serait alors un prisme de 0 m. 04 × 0 m. 04 × 0 m. 16, dont l'une des moitiés, à bout bien dressé et dépoli avec un émeri de grosseur déterminée, serait constituée par la pierre ou toute autre matière à essayer, et l'autre par du mortier moulé à la suite.

Un autre avantage de ce procédé serait que, vu la position verticale du plan de joint pendant le moulage, on n'aurait pas à craindre que la couche de mortier qui s'y trouve ait une composition différente du reste de la masse.

On pourrait ainsi étudier l'adhérence :

1° D'un même mortier sur diverses matières;

2° De divers mortiers sur une même matière-étalon, ces mortiers étant constitués soit de proportions variées d'un même ciment et d'un même sable, soit de mêmes proportions d'un même ciment et de divers sables, soit de mêmes proportions d'un même sable et de divers composés hydrauliques.

Comme termes de comparaison, on pourrait essayer en même temps à la flexion, dans les mêmes conditions, des prismes entiers fabriqués les uns avec la pierre employée, les autres avec le mortier seul.

Quelques expériences nous ont montré que ce dispositif était susceptible de donner des résultats bien concordants. Beaucoup d'autres ont été entreprises depuis peu.

Essais d'invariabilité de volume. — Les petits cylindres de 0 m. 03 admis par le Sous-Comité servent exclusivement à rechercher la présence des expansifs dans les pâtes de ciment pur et ne sauraient convenir à l'étude des mortiers. Les longues baguettes à appareil multiplicateur employées à l'École des Ponts et Chaussées ne peuvent également être employées que pour certaines expériences spéciales faites avec du ciment gâché pur.

Il serait facile d'adopter, pour les essais courants, l'emploi des mêmes prismes de 0 m. 04 × 0 m. 04 × 0 m. 16 que nous proposons pour les essais de résistance, et dont on mesurerait à des périodes déterminées les allongements dans deux directions rectangulaires [1].

A cet effet, il suffirait de sceller au centre de deux couples de faces opposées des petites plaques métalliques portant des repères dont on mesurerait l'écartement au moyen d'un appareil micrométrique quelconque, tel, par exemple, que celui dont se sert M. le professeur Bauschinger.

Mesure du rendement et de la composition volumétrique élémentaire. — L'emploi de moules prismatiques, dont le volume est facile à mesurer exactement, permettrait de déterminer soit le rendement, soit la composition volumétrique élémentaire des mortiers, en pesant, aussitôt après leur confection, les éprouvettes mêmes destinées à être essayées ultérieurement. On serait sûr ainsi de l'identité (composition, manipulation, tassement, etc.) du mortier essayé avec celui sur lequel auraient porté les mesures.

Essais de porosité. — Les mêmes blocs prismatiques se prêteront évidemment à la mesure de la porosité des mortiers. Ils seront d'ailleurs plus faciles à préparer que des cylindres, soit qu'il s'agisse de mouler des mortiers ou de tailler des blocs de pierre ou de mortier déjà durci destinés à être essayés dans les mêmes conditions.

Essais de perméabilité. — Avant de s'occuper des essais de désagrégation par filtration d'eau de mer, le Comité d'études a adopté pour les essais de perméabilité un type d'éprouvettes qui, vu leur forme cylindrique, se prêtent moins bien que des prismes à arêtes vives à l'observation des phénomènes de désagrégation.

Il serait désirable, au cas où les expériences qui restent à faire sur les divers genres d'essais signalés ci-dessus achèveraient de justifier nos propositions, qu'on adoptât pour les essais de perméabilité les mêmes éprouvettes prismatiques que pour les autres, de manière à faire servir en même temps ces essais à l'observation des désagrégations.

---

[1] On peut décomposer la dilatation d'une gangue en deux parties, dont l'une, résultant de la transformation lente des expansifs sous l'action de l'eau introduite par le gâchage, se produirait dans chaque direction proportionnellement à la dimension correspondante du bloc, tandis que l'autre, due uniquement à l'action du milieu extérieur et limitée à une couche superficielle plus ou moins épaisse, serait constante dans toutes les directions.

Si, pour une gangue donnée, exposée pendant un temps donné dans un milieu donné, on représente par λ la dilatation proportionnelle rapportée à l'unité de longueur et par ε la dilatation superficielle constante, les allongements totaux l et a de deux dimensions L et A (L > A) d'un prisme pourront être exprimés par les formules :

$$l = \lambda L + \varepsilon \quad \text{et} \quad a = \lambda A + \varepsilon,$$

d'où l'on déduira :

$$\lambda = \frac{l - a}{L - A}, \qquad \varepsilon = \frac{a - Al}{L - A}.$$

Il suffirait de sceller à l'extrémité des prismes des tubes de verre d'un diamètre donné, que l'on mettrait ensuite en communication avec un réservoir où de l'eau serait maintenue à un niveau constant.

Des expériences exécutées de cette manière nous ont montré que ce dispositif était d'une application commode.

Essais de désagrégation par l'eau de mer. — Pour les essais par simple immersion, il sera bon d'opérer, ainsi que le Comité l'a d'ailleurs décidé, sur les éprouvettes mêmes destinées aux mesures de résistance.

Pour les essais de désagrégation par filtration continue ou intermittente, il sera avantageux d'opérer sur les blocs employés pour les expériences de perméabilité.

En adoptant pour les uns comme pour les autres la même forme prismatique, on aura l'avantage de pouvoir comparer plus sûrement les résultats. On pourra même essayer à la rupture les prismes traversés par l'eau pendant un temps plus ou moins long et reconnaître, par comparaison avec d'autres prismes identiques non soumis à la filtration, certaines altérations subies par le mortier qui ne se seraient révélées par aucun signe extérieur.

En résumé, il semble possible d'arriver à n'employer pour tous les essais prévus qu'un seul type d'éprouvettes, lequel est d'ailleurs d'une définition extrêmement simple.

En raison de la composition du sable proposé, nous ne croyons pas qu'on doive chercher à réduire à moins de 0 m. 04 la dimension transversale du prisme. Quant à sa longueur, elle présente moins d'importance. Elle doit pourtant être assez grande pour que, dans les essais par flexion, les couteaux ne portent pas trop près des bouts, et que, d'autre part, le demi-prisme puisse, dans l'essai par traction, être saisi par les pinces sur une longueur suffisante pour qu'il n'y ait à craindre aucun glissement ni aucune déformation de ses faces.

Si l'on ne se sert comme sable normal que du mélange en parties égales des trois sables élémentaires définis plus haut, il sera nécessaire que le prisme n'ait pas plus de 0 m. 15 de longueur pour que, quels que soient la nature du ciment employé et le dosage adopté, on puisse remplir deux moules avec le mortier fourni par 1 kilogramme de matières sèches [1].

Un autre avantage de la forme simple de l'éprouvette est qu'on pourra sans peine tailler de pareils prismes dans des blocs de mortier déjà anciens pris dans des maçonneries existantes et comparer dans des conditions rigoureusement identiques leurs résistances et leurs autres propriétés à celles des mortiers d'essai.

Enfin, il sera à la fois commode et logique de donner la même forme aux éprouvettes servant pour l'essai des pierres et des autres matériaux de construction autres que les métaux.

APPAREILS D'ESSAI.

Il est à désirer que, notamment en ce qui concerne la mesure des résistances, une même machine puisse servir pour divers genres d'essais. L'unification des éprouvettes rendrait certainement plus aisée la réalisation de ce desideratum [2], et il y aurait lieu d'étudier, au cas où elle serait jugée possible, un type de machine approprié à la forme et aux résistances maxima (y compris les pierres, etc.) des nouvelles éprouvettes.

Si, reprenant ultérieurement des propositions faites déjà par plusieurs de ses membres, le Comité croit devoir établir une distinction entre les expériences de laboratoire et les épreuves pratiques, on devra s'efforcer de choisir ces dernières de telle sorte qu'on puisse les exécuter sans appareils trop compliqués ni trop coûteux [3].

Boulogne-sur-Mer, le 26 décembre 1892.

R. FERET.

---

[1] Avec des sables plus riches en gros grains, on ne pourra pas toujours obtenir deux prismes de 0 m. 15. Dans ce cas, au lieu de prescrire d'opérer sur un kilogramme de matière sèche, il serait peut-être préférable de prendre pour chaque mortier, après les avoir déterminées par une expérience préalable, les quantités de matières correspondant sensiblement à un même volume de mortier gâché, volume qu'on choisirait un peu supérieur à celui de deux prismes.

[2] En particulier, la section des blocs pour essais de compression étant diminuée et celle des éprouvettes de traction augmentée, la différence entre les efforts totaux nécessaires pour produire la rupture dans les deux cas se trouverait fort amoindrie.

[3] C'est dans ce but qu'un membre du Sous-Comité a proposé de réduire tous les essais de résistance à des essais de flexion par charge directe faits sur des prismes de 1 centimètre de côté. Avec les prismes de 4 centimètres, on pourrait peut-être, si, comme l'a dit M. H. Le Chatelier dans ses *Réflexions sur l'unification des méthodes d'essai*, on ne doit considérer que comme très vagues les indications numériques fournies par les essais de résistance, opérer par choc-flexion et compter le nombre de chocs bien définis nécessaire pour produire la rupture des prismes. Le prisme reposant sur deux couteaux, il suffirait d'appliquer en son milieu un troisième couteau se prolongeant en dessous par une tige verticale graduée, terminée par un épaulement et le long de laquelle on laisserait tomber d'une hauteur donnée un poids annulaire enfilé dans cette tige. Les conditions de réception se borneraient alors à mentionner qu'un prisme de mortier fait dans de telles conditions doit, après telle durée, supporter sans se rompre l'effort de flexion produit par le choc d'un poids de tant de kilogrammes venant buter contre l'épaulement en tombant de telle hauteur. Il ressort du tableau cité en renvoi (page 88) qu'on pourrait sans doute se contenter, dans presque tous les cas, d'un poids d'un kilogramme tombant de hauteurs n'excédant pas un mètre.

TABLEAUX ANNEXES.

Tableau A.

Comparaison d'éprouvettes d'un même mortier fabriquées par un même opérateur.

ESSAIS À LA TRACTION.

(*Briquettes en forme de 8 à section de 5 cm²*.)

Numéro d'ordre de l'essai.	Désignation du ciment.	Proportion d'eau correspondant à la consistance normale de la pâte de ciment pur.	Grosseur du sable. (Quartzite de Cherbourg.)	Poids de sable pour 1 de ciment.	Nature de l'eau de gâchage.	Proportion d'eau employée pour le gâchage. N p. 100 du ciment + n p. 100 du sable.	Proportion d'eau employée pour le gâchage. En fonction du poids total de matière sèche.	Milieu d'exposition depuis le démoulage jusqu'à la rupture.	Mode de fabrication du mortier.	Aspect du mortier.	Nombre de briquettes fournies par 1 kg. de matières sèches.	Nombre total de briquettes fabriquées.	Nombre de briquettes cassées en démoulant après vingt-quatre heures.	Nombre de résistances anormales supprimées (20).	Nombre de briquettes ayant contribué aux moyennes.	Moyenne des résistances obtenues après quatre semaines.	Écart moyen (20).	Écart moyen rapporté à la moyenne.
		N =			Eau.	n =	p. 100.									kg.p. cm².	kg.	p. 100.
1	Divers ciments portlands.	"	Néant.....	0	de mer	"	N.	Eau de mer.	Pâtes de ciment pur.....	Consistance normale.....	6	42	0	0	42	24,2 (21)	3,24	13,4
2												78	0	0	78	39,0 (21)	3,59	9,2
3												60	0	0	60	40,6 (21)	3,51	8,6
4												30	0	0	30	40,2 (21)	3,28	8,1
5												84	0	1	83	41,8 (21)	3,49	8,4
6												66	0	0	66	60,2	4,52	7,5
7												30	0	0	30	47,4	2,89	6,1
8												30	0	0	30	49,5	3,95	8,0
9												30	0	0	30	48,1	4,37	9,1
10												30	0	0	30	63,7 (23)	4,99	7,8
11												30	0	0	30	60,8 (23)	6,15	10,1
12												30	0	0	30	64,4 (23)	4,46	6,9
13	Divers ciments portlands.	"	64-144 (1)..	3	de mer	"	10,5	Eau de mer.	Mortiers battus à la spatule (9). (Mortier sableux normal)..	Quantité d'eau pouvant convenir pour les 7 mortiers.....	6	36	0	0	36	10,4 (21)	0,89	8,5
14												60	0	0	60	9,2 (21)	0,75	8,1
15												72	0	0	72	12,4 (21)	1,13	9,1
16												24	0	0	24	13,3 (21)	0,84	6,3
17												36	0	0	36	12,3 (21)	0,80	6,4
18												30	0	0	30	11,4 (21)	0,75	6,6
19												42	0	0	42	10,4 (21)	0,90	8,6
20	A	23,0	1,5-1,0 (2)..	5	douce.	8 (6)	10,50	Eau douce..	Battu à la spatule (9).....	S'agglomère difficilement.....	6	54	0	0	54	8,58	0,76	8,9
21						12	13,83		Gâché à la truelle; non battu (8)	Pâte mal liée.....	8	72	11 (19)	0	61	5,58	0,93	16,8
22				3	douce.	6	10,25	Eau douce..	Battu à la spatule.....	Quantité d'eau peut-être un peu trop faible.	6	54	1	4	49	18,19	1,15	6,3
23						8	11,75		Battu à la spatule.....	Un peu trop mouillé.....	6	54	4	0	50	16,03	1,25	7,7
24						10	13,25		Battu à la spatule.....	Trop mouillé pour être convenablement battu	6	54	1	5	48	13,94	0,83	6,0
25						10	13,25		Gâché à la truelle; non battu.	Un peu trop sec pour être moulé sans battage	7	63	3	1	59	12,01	1,10	9,2
26						12	14,75		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	8	64	14	0	50	10,31	1,13	10,9
27						6	11,67		Battu à la spatule.....	Trop mouillé pour être convenablement battu	6	54	0	0	54	23,08	1,73	7,3
28						8	14,33		Battu à la spatule.....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	8	54	0	0	54	32,31	2,70	8,6

32	B	23,5	64-144....	3	de mer	"	10	Eau de mer.	Comprimé avec l'appareil Böhme (13).....	La proportion d'eau pourrait être un peu diminuée.....	6	36	"	0	36	17,66	1,33	7,8
														1	35	18,06	0,88	4,7
33	C	"	64-144....	3	douce.	"	10	Eau douce..	Comprimé à la main avec un pilon spécial (14).. Opérateur habitué à ce pilon....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	6	60	0	2	60	27,51	1,72	6,3
34	A	23,0			de mer			Eau de mer.				45	1	0	44	20,03	1,36	6,8
35	D	27,5	64-144....	3	de mer	"	11	Eau de mer.	Battu à la spatule.....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	6	54	0	0	54	14,46	1,24	8,6
36			Mélange α (3)			10	14,4		Gâché à la truelle ; non battu.	Bonne consistance plastique.....	7	63	0	0	63	10,69	0,99	9,3
37	E	20,0	64-144....	3	de mer	"	10,5	Eau de mer.	Battu à la spatule.....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	6	54	0	0	54	13,71	0,94	6,9
38			Mélange α..			10,67 (7)	13,0		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	7	63	0	0	63	9,34	1,05	11,3
39	F	24,5	64-144....	3	douce.	"	10,5	Eau douce..	Battu à la spatule.....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	6	54	7	4	43	25,80	1,88	7,3
40			64-144....	2		9	14,17		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	7	63	0	1	42	23,12	1,56	6,7
41			Mélange β (4)	3		16	18,12		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	8	72	1	0	71	12,54	1,04	8,3
42	H	23,5	64-144....	3	de mer	"	10,5	Eau de mer.	Battu à la spatule.....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	6	54	0	0	54	20,82	1,71	8,2
43			64-144....	2		9	13,83		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	7	63	1	0	62	16,82	0,96	5,7
44			Mélange β..	3		16	17,87		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	8	72	1	0	71	9,02	0,75	8,3
45	J	23,5	64-144....	3	de mer	"	10,5	Eau de mer.	Battu à la spatule.....	Quantité d'eau pouvant convenir.....	6	54	0	0	54	19,94	1,78	8,9
46			64-144....	2		9	13,83		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	7	63	0	2	61	16,43	1,02	6,2
47			Mélange β..	3		16	17,87		Gâché à la truelle; non battu.	Bonne consistance plastique.....	8	72	3	0	69	9,10	0,72	7,9
48	B	23,5	Mélange γ (5)	5	douce.	10,78	12,9	Eau douce..	Mortiers gâchés à la truelle; non battus.....	Bonne consistance plastique.....	7	20	0	0	20	11,53	1,01	8,8
49				3		10,17	13,5									18,68	1,77	9,5
50				2		9,85	14,4									23,78	3,17	13,3
51				5	donce.	10,78	12,9									12,03	0,73	5,9
52				3		10,17	13,5									19,45	1,46	7,5
53				2		9,85	14,4									25,13	1,77	7,4
54				5	de mer	10,78	12,9	Eau de mer.								11,65	1,00	8,5
55				3		10,17	13,5									18,83	1,23	6,5
56				2		9,85	14,4									24,30	2,09	8,6

Pour les renvois, voir page 97.

Tableau B.

Comparaison d'éprouvettes d'un même mortier fabriquées par un même opérateur.

ESSAIS À LA COMPRESSION.
(*Cubes à faces de 50 cm².*)

Numéro d'ordre de l'essai.	Désignation du ciment.	Poids d'eau correspondant à la consistance normale du ciment pur.	Grosseur du sable. (Quartzite de Cherbourg.)	Poids de sable pour 1 de ciment.	Nature de l'eau de gâchage.	Proportion d'eau employée pour le gâchage. N p. 100 du ciment + n p. 100 du sable.	Proportion d'eau employée pour le gâchage. En fonction du poids total de matière sèche	Milieu d'exposition depuis le démoulage jusqu'à la rupture.	Mode de fabrication du mortier.	Nombre de cubes essayés.	Moyenne des résistances obtenues après 4 semaines.	Écart moyen (26).	Écart moyen rapporté à la moyenne.
		N =			Eau	n =	p. 100.				kg. p. cm².	kg.	p. 100.
57	K	31,5	Néant.....	0	de mer..	"	31,5	Eau de mer..	Pâtes de ciment pur, gâchées à consistance normale...	15	214,3 (22)	5,1	2,4
58					douce..			Eau douce...		24	428,8 (24)	15,6	3,6
59	B	23,5	1,5-1,0 (2)...	3	douce...	6	10,37	Eau douce...	Comprimé avec l'appareil Tetmajer (12).....	12	150,8	6,2	4,1
60						6	10,37		Comprimé avec l'appareil Böhme (13).....	12	84,5	4,4	5,2
61						6	10,37		Comprimé au pilon (10).....	12	84,1	3,7	4,4
62						10	13,37		Gâché à la truelle; non comprimé (8).....	12	68,2	2,4	3,5
63				2	douce...	4	10,50		Comprimé au pilon.....	12	197,4	5,0	2,5
64						9	13,83		Gâché à la truelle; non comprimé.....	12	106,2	3,0	2,8
65	D	27,5	64-144 (1)...	3	de mer..	"	11	Eau de mer..	Comprimé au pilon.....	16	95,6	2,9	3,1
66			Mélange α (3).			10	14,37		Gâché à la truelle; non comprimé.....	16	54,3	1,5	2,8
67	E	20,0	64-144.....	3	de mer..	"	10,5	Eau de mer..	Comprimé au pilon.....	16	78,8	1,6	2,0
68			Mélange α...			10,67 (7)	13,00		Gâché à la truelle; non comprimé.....	16	59,5	2,5	4,2
69	H	23,5	64-144.....	2	de mer..	9	13,83	Eau de mer..	Gâchés à la truelle; non comprimés.....	12	88,9	4,2	4,8
70			Mélange β (4).	3		16	17,87				40,7	2,1	5,2
71	J	23,5	64-144.....	2	de mer..	9	13,83	Eau de mer..	Gâchés à la truelle; non comprimés.....	12	88,0	2,7	3,1
72			Mélange β...	3		16	17,87				42,4	1,6	3,7
73	B	23,5	Mélange γ (5).	5	douce...	10,78	12,9	Air.....	Gâchés à la truelle; non comprimés.....	20	81,9	3,2	3,9
74				3		10,17	13,5				129,6	5,5	4,3
75				2		9,85	14,4				163,9	5,8	3,5
76				5	douce...	10,78	12,9	Eau douce...			66,8	2,5	3,7
77				3		10,17	13,5				116,7	1,9	1,6
78				2		9,85	14,4				168,7	3,1	1,7
79				5	de mer..	10,78	12,9	Eau de mer..			69,2	1,7	2,5
80				3		10,17	13,5				111,9	4,2	3,5
81				2		9,85	14,4				165,4	2,6	1,6

Nota. — Les proportions d'eau adoptées pour ces divers mortiers sont celles qui, d'après les essais du tableau A, paraissaient le mieux convenir. Pour les mortiers 59 et 60, la proportion d'eau aurait pu être un peu diminuée.

Pour les renvois, voir page 95.

OBSERVATIONS RELATIVES AUX TABLEAUX A, B, C, D.

GROSSEUR DU SABLE.

(1) 64–144 = Sable passant au tamis de 64 mailles par cm² et retenu par celui de 144 mailles. (Sable normal actuel.)

(2) 1,5–1,0 = Sable passant à travers une plaque perforée à trous circulaires de 1,5 mm. de diamètre et retenu par une plaque à trous de 1 mm. (Presque identique au sable 64 – 144.)

(3) Mélange α = Mélange à poids égaux des trois sables..... { 3,0 – 2,0 / 1,5 – 1,0 / 0,75 – 0,50. } ces nombres représentant en millimètres les diamètres des trous des plaques perforées correspondantes.

(4) Mélange β = Mélange à poids égaux des deux sables..... { 2,0 – 1,5 (plaques perforées). / 900 – 4.900 (tamis). }

(5) Mélange γ = Mélange à poids égaux des trois sables..... { 5,0 – 2,0 / 2,0 – 0,50 / passe 0,50 } (plaques perforées). chacun de ces sables étant lui-même composé par parties à peu près égales de trois grosseurs intermédiaires.

PROPORTION D'EAU DE GÂCHAGE.

(6) $n = 6$ donne un mortier beaucoup trop sec.

(7) $n = 10$ donne un mortier trop sec.

MODE DE FABRICATION DU MORTIER.

(8) Le gâchage à la truelle est effectué sur une table de marbre avec une quantité d'eau telle que le mortier ait une consistance plastique. Puis on introduit celui-ci dans le moule que l'on garnit en poussant le mortier avec le doigt, et on en lisse la surface à la truelle sans lui faire subir aucun damage. (Procédé commun à la fabrication des briquettes et des cubes.)

(9) Pour la fabrication des briquettes de mortier comprimé, le ciment et le sable, mélangés à sec dans une cuvette, sont mouillés d'une quantité d'eau relativement faible. Le mélange est agité de nouveau et introduit dans le moule de manière à déborder, puis battu énergiquement au moyen d'une spatule en fer de 20 cm² de surface, 0 m. 33 de longueur totale et pesant environ 250 g.

(10) Pour la fabrication des cubes de mortier comprimé, le même mélange, introduit en une fois dans le moule, est battu au moyen d'un pilon pesant 2 kg., de même section que le moule, et guidé par un couloir vertical de 0 m. 10 de hauteur.

(11) L'appareil Tetmajer pour la fabrication des briquettes donne 120 coups d'un mouton de 2 kg. tombant d'une hauteur de 0 m. 25.

(12) L'appareil Tetmajer pour la fabrication des cubes donne 150 coups d'un mouton de 3 kg. tombant d'une hauteur de 0 m. 60.

(13) L'appareil Böhme donne, qu'il s'agisse de la fabrication des briquettes ou de celle des cubes, 150 coups d'un marteau de 2 kg. tombant d'une hauteur d'environ 0 m. 15.

(14) Pilon en forme de 8, comme la briquette, pesant 1 kg. et guidé par un couloir vertical de même section, haut de 0 m. 125.

OBSERVATIONS DIVERSES SUR LES RÉSULTATS OBTENUS.

(15) Le même mortier, comprimé au moyen des appareils Tetmajer et Böhme, a donné comme résistances moyennes :

	APPAREIL TETMAJER.	APPAREIL BÖHME.		APPAREIL TETMAJER.	APPAREIL BÖHME.	
Après 1 sem.....	11,8	14,0.	soit :	98	116	p. 100 des moyennes des 6 opérateurs.
Après 4 sem.....	16,2	18,4		93	106	

(16) Le même mortier, comprimé au moyen des appareils Tetmajer et Böhme, a donné comme résistances moyennes :

	APPAREIL TETMAJER.	APPAREIL BÖHME.		APPAREIL TETMAJER.	APPAREIL BÖHME.	
Après 1 sem.....	21,3	23,2	soit :	125	137	p. 100 des moyennes des 6 opérateurs.
Après 4 sem.....	29,8	31,4		107	113	

(17) Les mêmes mortiers, pilonnés par un 7e opérateur, maçon n'ayant jamais fait d'essais, ont eu pour résistances..... (moy. de 6 briquettes)

Mortier n° 92..	1 sem.....	22,5	soit : 108	p. 100 des moyennes des 6 premiers opérateurs.
	4 sem.....	26,3	103	
Mortier n° 93..	1 sem.....	14,9	100	
	4 sem.....	19,6	103	

(18) Plusieurs opérateurs n'ont pu faire que 7 briquettes par gâchée de 1 kg.

(19) Les premières briquettes démoulées après vingt-quatre heures se cassaient toutes; on a laissé les autres et on ne les a démoulées et immergées que quarante-huit heures après le gâchage.

(20) Briquettes sans doute ébranlées au démoulage et ayant donné, lors de la rupture, des résistances notablement inférieures aux autres.

(21) Résistance après une semaine.

(22) Résistance après deux mois.

(23) Résistance après six mois.

(24) Résistance après un an.

(25) Les résistances individuelles ayant contribué à cette moyenne présentent entre elles des écarts importants.

CALCUL DES ÉCARTS MOYENS.

(26) En appelant n le nombre des résistances ayant contribué à la moyenne et e l'écart de l'une quelconque de ces résistances avec la moyenne, l'écart moyen est calculé par la formule $\sqrt{\frac{\Sigma(e^2)}{n-1}}$.

(27) En appelant e l'écart d'une quelconque des 6 résistances moyennes avec leur moyenne générale, l'écart moyen est calculé par la formule $\sqrt{\frac{\Sigma(e^2)}{5}}$.

Tableau C.

Comparaison d'éprouvettes d'un même mortier fabriquées par six opérateurs différents.

ESSAIS À LA TRACTION.

(*Briquettes en forme de 8 à section de 5 cm².*)

Numéro d'ordre de l'essai.	Désignation du ciment.	Proportion d'eau correspondant à la consistance normale du ciment pur.	Grosseur du sable. (Quartzite de Cherbourg.)	Poids de sable pour 1 de ciment.	Nature de l'eau de gâchage et d'immersion.	Proportion d'eau employée pour le gâchage. N p. 100 du ciment + n p. 100 de sable.	Proportion d'eau employée pour le gâchage. En fonction du poids total de matières sèches.	Mode de fabrication du mortier.	Nombre de briquettes de chaque opérateur, cassées à chaque période.	Périodes de rupture.	Moyenne des résistances atteintes par les briquettes de chaque gâcheur. Gâcheur A.	Gâcheur B.	Gâcheur C.	Gâcheur D.	Gâcheur E.	Gâcheur F.	Moyenne générale des 6 moyennes.	Écart moyen des 6 moyennes (27).	Moyenne de chaque gâcheur rapportée à la moyenne générale égalée à 100. Gâcheur A.	Gâcheur B.	Gâcheur C.	Gâcheur D.	Gâcheur E.	Gâcheur F.	Moyenne générale.	Écart moyen des 6 moyennes (27).
		N =			Eau	n =	p. 100.				kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².								p. 100.
82	L	24,5	Néant.	0	de mer	"	24,5	Pâte de ciment pur gâchée à consistance normale.	6	1 sem.	39,6	37,7	39,8	38,4	43,2	41,7	**40,1**	2,06	99	94	99	96	108	104	100	**5,1**
										4 sem.	50,3	50,1	54,8	56,4	53,6	58,8	**54,0**	3,42	93	93	102	105	99	109	100	**6,3**
										12 sem.	66,5	52,2	59,8	70,9	61,6	63,9	**62,5**	6,37	106	84	95	113	99	102	100	**10,2**
83	L	24,5	64-144(1)	3	de mer	"	10,5	Mortier battu à la spatule (9).....	6	1 sem.	17,3	17,2	11,9	11,0	15,1	15,0	**14,6**	2,64	119	118	82	75	104	103	100	**18,1**
										4 sem.	19,8	20,6	17,8	14,6	20,2	20,8	**19,0**	2,39	104	109	94	77	107	110	100	**12,6**
										12 sem.	25,4	24,6	20,8	20,6	25,1	24,4	**23,5**	2,19	108	105	89	88	107	104	100	**9,3**
84	A	23,0	64-144	3	de mer	"	10	Briquettes battues toutes par le même opérateur et lissées par divers...	6	1 sem.	14,6	12,8	12,9	12,6	11,8	13,3	**13,0**	0,93	112	99	99	97	91	102	100	**7,2**
										4 sem.	16,6	16,7	17,0	16,6	17,0	17,3	**16,9**	0,28	98	98	101	98	101	102	100	**1,7**
85								*Idem*.....	6	1 sem.	10,9	12,2	10,3	11,7	12,8	11,8	**11,6**	0,90	94	105	89	101	110	102	100	**7,8**
										4 sem.	16,1	16,6	15,8	18,5	17,4	15,2	**16,6**	1,19	97	100	95	112	105	92	100	**7,2**
86								Briquettes battues par divers opérateurs et lissées toutes par le même....	6	1 sem.	11,2	12,0	11,4	10,8	12,5	11,8	**11,6**	0,61	97	104	98	93	108	102	100	**5,3**
										4 sem.	15,8	15,3	16,1	14,3	17,4	17,0	**16,0**	1,13	99	96	101	89	109	106	100	**7,1**
87								*Idem*.....	6	1 sem.	12,6	11,7	11,6	(25)10,4	11,8	13,3	**11,9**	0,98	106	98	97	87	99	112	100	**8,2**
										4 sem.	16,8	16,1	15,2	14,7	15,2	17,6	**15,9**	1,11	106	101	95	92	95	111	100	**7,0**
88	A	23,0	1,5-1,0(9)	3	douce.	6	10 25	Battu à la spatule (18)...	6	1 sem.	11,9	11,5	11,6	11,1	12,4	13,3	**12,0**	0,78	99	96	97	92	104	111	100	**6,6**
										4 sem.	17,7	16,2	18,9	(26)13,9	18,3	19,1	**17,1**	1,99	102	93	109	80	106	110	100	**11,3**
						10	14 20	Gâché à la truelle (7), non	7	1 sem.	5,1	5,7	8,2	5,3	4,8	5,6	**5,8**	1,23	88	99	142	92	83	97	100	**21,2**

										4 sem.	29,3	26,6	28,0	26,0	29,7	26,2	27,7	1,50	106	96	101	96	107	94	100	5,4
91	A	23,0	1,5-1,0 (2)	2	douce.	9	13,63	Gâché à la truelle; non battu.....	7	1 sem.	9,8	9,3	10,5	12,1	10,2	10,9	10,5	0,97	93	89	100	115	97	104	100	9,3
										4 sem.	17,1	18,1	19,9	20,9	17,4	17,9	18,6	1,51	92	97	107	113	94	97	100	8,1
92	C	"	64-144	3	douce.	"	10	Comprimé à la main avec un pilon spécial (14) (17).	6	1 sem.	19,2	23,5	21,0	19,1	23,0	19,4	21,0	2,00	92	112	103	91	110	93	100	9,5
										4 sem.	23,5	26,8	25,8	25,2	26,9	24,2	25,4	1,15	93	106	102	99	106	96	100	4,5
93	M	"			de mer	"			6	1 sem.	14,6	14,4	15,8	13,2	16,3	15,4	15,0	1,12	98	97	106	88	109	103	100	7,5
										4 sem.	17,4	19,4	21,3	17,0	19,6	19,3	19,0	1,58	92	102	112	90	103	102	100	8,3
94	P	25,0	Mélange α (3)	3	douce.	9,27	13,20	Gâché à la truelle; non battu. (Consistance un peu trop sèche.).....	6	1 sem.	8,4	7,4	6,0	7,4	6,3	7,8	7,3	0,91	116	102	83	102	87	108	100	12,6
										4 sem.	18,0	16,6	(25) 12,2	15,0	(25) 13,9	15,1	15,1	2,02	119	110	81	99	92	100	100	13,3
										12 sem.	24,7	23,8	18,4	19,9	19,6	20,8	21,2	2,50	117	112	87	94	92	98	100	11,8
95						10	13,75	Gâché à la truelle; non battu. (Bonne consistance plastique.).....	6	1 sem.	5,3	5,9	5,0	4,2	5,4	5,9	5,3	0,64	100	112	95	80	102	112	100	12,1
										4 sem.	13,4	11,3	10,9	(25) 9,1	10,4	12,1	11,2	1,47	120	101	97	82	93	108	100	13,2
										12 sem.	19,3	18,9	14,4	14,0	16,3	16,2	16,5	2,21	117	114	87	85	99	98	100	13,4
96			64-144	3		"	10,5	Battu à la spatule.....	6	1 sem.	17,4	17,0	15,0	12,6	17,4	17,5	16,2	1,98	108	105	93	78	108	109	100	12,2
										4 sem.	25,0	27,0	22,8	19,8	23,9	26,9	24,2	2,73	104	112	94	82	99	111	100	11,3
97	F	24,5	64-144	2	douce.	9	14,17	Gâché à la truelle; non battu.....	7	1 sem.	14,6	14,1	15,7	17,3	15,6	14,3	15,3	1,20	96	92	103	113	102	94	100	7,8
										4 sem.	24,9	24,9	26,3	22,7	23,4	23,7	24,3	1,30	102	102	108	94	96	98	100	5,4
98			Mélange β (4)	3		16	18,12	Gâché à la truelle; non battu.....	8 (18)	1 sem.	7,6	7,1	8,2	7,3	8,2	7,6	7,7	0,46	99	93	107	95	107	99	100	6,0
										4 sem.	13,4	12,1	14,2	11,8	13,7	12,9	13,0	0,93	103	93	109	91	105	99	100	7,2
99			64-144	3		"	10,5	Battu à la spatule.....	6	1 sem.	13,9	14,2	12,9	10,3	12,8	14,1	13,0	1,47	106	109	99	79	98	108	100	11,3
										4 sem.	18,8	19,2	16,6	16,8	18,9	19,8	18,4	1,33	102	104	91	92	103	108	100	7,2
100	H	23,5	64-144	2	de mer	9	13,83	Gâché à la truelle; non battu.....	7	1 sem.	11,6	10,5	11,9	12,2	11,7	12,6	11,8	0,72	99	89	101	104	100	107	100	6,1
										4 sem.	16,4	15,6	18,3	18,0	16,8	16,8	17,0	1,01	97	92	108	106	99	99	100	6,0
101			Mélange β	3		16	17,87	Gâché à la truelle; non battu.....	8 (18)	1 sem.	6,6	7,0	7,2	8,1	6,9	6,5	7,1	0,58	93	99	102	115	98	92	100	8,2
										4 sem.	8,7	9,4	9,6	10,1	8,5	8,9	9,2	0,61	95	102	104	110	92	97	100	6,6
102			64-144	3		"	10,5	Battu à la spatule.....	6	1 sem.	13,0	11,8	11,2	11,3	13,2	14,0	12,4	1,15	105	95	90	91	106	113	100	9,2
										4 sem.	18,0	18,3	16,7	16,8	19,0	25,0	19,0	3,08	95	97	88	89	100	132	100	16,2
103	J	23,5	64-144	2	de mer	9	13,83	Gâché à la truelle; non battu.....	7	1 sem.	10,7	10,8	12,7	11,8	11,0	10,9	11,3	0,90	95	96	113	104	97	96	100	8,0
										4 sem.	17,0	15,3	18,9	16,9	16,6	17,6	17,1	1,19	100	90	111	99	97	103	100	7,0
104			Mélange β	3		16	17,87	Gâché à la truelle; non battu.....	8 (18)	1 sem.	6,0	6,4	7,1	6,4	6,0	6,5	6,4	0,40	94	100	111	100	94	102	100	6,3
										4 sem.	8,9	9,5	9,6	9,6	9,5	8,6	9,3	0,43	96	102	104	104	102	93	100	4,6

NOTA. Les proportions d'eau adoptées pour ces divers mortiers sont celles qui, d'après les essais du tableau A, paraissaient le mieux convenir.

Pour les renvois, voir page 95.

Tableau D.

Classement et comparaison des principales indications des tableaux A, B, C.

NATURE DU MORTIER.	GROSSEUR DU SABLE. (QUARTZITE de Cherbourg.)	POIDS DE SABLE POUR 1 DE CIMENT.	NUMÉRO DU GROUPE DE MORTIERS.	COMPARAISON D'ÉPROUVETTES D'UN MÊME MORTIER fabriquées par un même opérateur. Essais à la traction. (Voir tableau A.) Numéro de l'essai.	Résistance moyenne après 4 semaines.	Écart moyen rapporté à la moyenne.	Essais à la compression. (Voir tableau B.) Numéro de l'essai.	Résistance moyenne après 4 semaines.	Écart moyen rapporté à la moyenne.	COMPARAISON D'ÉPROUVETTES D'UN MÊME MORTIER fabriquées par 6 opérateurs différents. Essais à la traction. (Voir tableau C.) Numéro de l'essai.	Résistance moyenne après 1 semaine.	Résistance moyenne après 4 semaines.	Résistance moyenne après 12 semaines.	Écart moyen rapporté à la moyenne.
					kg. par cm².	p. 100.		kg. par cm².	p. 100.		kg. par cm².	kg. par cm².	kg. par cm².	p. 100.
Pâtes de ciment gâchées à consistance normale et introduites sans tassement dans les moules. (Essai normal au ciment pur.).....	Néant.	0	I.	1	# (21)	13,4								
				2	# (21)	9,2								
				3	# (21)	8,6								
				4	# (21)	8,1								
				5	# (21)	8,4								
				6	60,2	7,5								
				7	47,4	6,1								
				8	49,5	8,0								
				9	48,1	9,1								
				10	# (23)	7,8					40,1			5,1
				11	# (23)	10,1	57	# (22)	2,4	82		54,0		6,3
				12	# (23)	6,9	58	# (24)	3,6				62,5	10,2
				MOYENNE	51,3	8,6	MOYENNE	#	3,0	MOYENNE	40,1	54,0	62,5	7,2
Mortiers contenant des proportions d'eau relativement faibles et dosées [illegible] Battage à la main au moyen d'une spatule (briquettes) (9) ou d'un pilon (cubes) (10)...	64-144 (1) ou 1,5-1,0 (2)	5	II.	20	8,58	8,9								
		3 (Essai normal au mortier sableux.)	III.	13	# (22)	8,5								
				14	# (21)	8,1								
				15	# (21)	9,1								
				16	# (21)	6,3								
				17	# (21)	6,4					14,6			18,1
				18	# (21)	6,6				83		19,0		12,6
				19	# (21)	8,6							23,5	9,3
				22	18,19	6,3				88	12,0			6,6
				23	16,03	7,7						17,4		11,5
				24	13,94	6,0				96	16,2			12,2
				35	14,46	8,6						24,2		11,3
				37	13,71	6,9				99	13,0			11,3
				39	25,80	7,3	61	84,1	4,4			18,4		7,2
				42	20,82	8,2	65	95,6	3,1	102	12,4			9,2
				45	19,04	8,9	67	78,8	2,0			19,0		16,2
				MOYENNE	17,86	7,6	MOYENNE	86,2	3,2	MOYENNE	13,6	19,0	23,5	11,4
				27	25,68	7,3				90	17,0			10,2

	guide [illegible]				34	20,03	6,8					19,0			8,3
					Moyenne	23,77	6,5				Moyenne	18,0	22,2		7,4
	Appareils Tetmajer (11) (12)	64-144	3	V.	31	17,30	7,8	59	150,8	4,1	Voir renvois (15) et (16) relatifs aux essais n°s 88 et 90.				
	Appareil Böhme (13)				32	18,06	4,7	60	84,5	5,2					
Mortiers gâchés à consistance plastique et introduits dans les moules sans damage (8)	64-144 ou 1,5-1,0		5	VI.	21	5,58	16,8								
			3	VII.	25	12,01	9,2				89	5,8			21,2
					26	10,31	10,9	62	68,2	3,5			9,5		3,3
					Moyenne	11,16	10,1	Moyenne	68,2	3,5	Moyenne	5,8	9,5		12,3
			2	VIII.							91	10,5	18,6		9,3
															8,1
											97	15,3	24,3		7,8
					29	16,28	6,3								5,4
					30	17,85	9,9				100	11,8	17,0		6,1
					40	23,12	6,7	64	106,2	2,8					6,0
					43	16,82	5,7	69	88,9	4,8	103	11,3	17,1		8,0
					46	16,02	6,2	71	88,0	3,1					7,0
					Moyenne	18,02	7,0	Moyenne	94,4	3,6	Moyenne	12,2	19,2		7,2
	Mélange α (5)		3	IX.							94	7,3	15,1		12,6
															13,3
														21,2	11,8
												5,3			12,1
					36	10,69	9,3	66	54,3	2,8	95		11,2		13,2
					38	9,34	11,3	68	59,5	4,2				16,5	13,4
					Moyenne	10,02	10,3	Moyenne	56,9	3,5	Moyenne	6,3	13,2	18,9	12,7
	Mélange β (5)		3	X.							98	7,7	13,0		6,0
															7,2
											101	7,1	9,2		8,2
					41	12,54	8,3								6,6
					44	9,02	8,3	70	40,7	5,2	104	6,4	9,3		6,3
					47	9,10	7,9	72	42,4	3,7					4,6
					Moyenne	10,22	8,2	Moyenne	41,6	4,5	Moyenne	7,1	10,5		6,5
	Mélange γ (5)		5	XI.	48	11,53	8,8	73	81,9	3,9					
					51	12,03	5,9	76	66,8	3,7					
					54	11,65	8,5	79	69,2	2,5					
					Moyenne	11,70	7,7	Moyenne	76,0	3,4					
			3	XII.	49	18,68	9,5	74	129,6	4,3					
					52	19,45	7,5	77	116,7	1,6					
					55	18,83	6,5	80	111,9	3,5					
					Moyenne	18,99	7,8	Moyenne	119,4	3,1					
			2	XIII.	50	23,78	13,3	75	163,9	3,5					
					53	25,13	7,4	78	168,7	1,7					
					56	24,30	8,6	81	165,4	1,6					
					Moyenne	24,40	9,8	Moyenne	166,0	2,3					

Pour les renvois, voir page 95.

TABLEAU

Comparaison des résistances obtenues

MÊME CIMENT ET MÊME SABLE. (Sable quartzeux, 1/3 G + 1/3 M + 1/3 F, appelé γ dans le rapport.)	RAPPORT DU POIDS de ciment au poids de sable.	MILIEU D'EXPOSITION (PENDANT QUATRE SEMAINES).	FLEXION. PETITS PRISMES 0 m. 02 × 0 m. 02.	FLEXION. GROS PRISMES 0 m. 04 × 0 m. 04.
Résistance totale en kilogrammes. (Chaque résistance est une moyenne déduite de 20 éprouvettes identiques.)	1/5	Air	14,50	118,90
		Eau douce	13,70	86,15
		Eau de mer	14,38	104,10
	1/3	Air	19,33	172,75
		Eau douce	20,28	144,15
		Eau de mer	20,75	188,50
	1/2	Air	20,91	196,50
		Eau douce	27,03	190,75
		Eau de mer	26,58	221,75
Résistance calculée par cm² (en kilogrammes par cm²).	1/5	Air	(3) 27,18	(3) 27,86
		Eau douce	25,68	20,19
		Eau de mer	26,96	24,39
	1/3	Air	36,23	40,48
		Eau douce	38,02	33,78
		Eau de mer	38,91	44,18
	1/2	Air	39,20	46,05
		Eau douce	50,67	44,70
		Eau de mer	49,84	51,97
Écart moyen des 20 résistances individuelles ayant contribué à chaque moyenne, exprimé en tant pour cent de cette moyenne.	1/5	Air	7,65	7,00
		Eau douce	5,19	4,12
		Eau de mer	5,50	8,45
	1/3	Air	9,25	7,40
		Eau douce	5,93	5,09
		Eau de mer	7,09	4,91
	1/2	Air	15,80	9,60
		Eau douce	8,10	8,95
		Eau de mer	5,77	4,15
		MOYENNE	7,92	6,65
Comparaison des résistances par cm² correspondant aux divers types d'éprouvettes (en ramenant à 100 toutes celles d'un même type.)	1/5	Air	100	102
		Eau douce	100	79
		Eau de mer	100	97
	1/3	Air	100	115
		Eau douce	100	89
		Eau de mer	100	114
	1/2	Air	100	118
		Eau douce	100	89
		Eau de mer	100	104
		MOYENNE	.....	100
		ÉCART MOYEN	.....	13,8

(1) Demi-prisme placé en croix entre deux plaques de fer parallèles, ayant 0 m. 04 de largeur.

(2) Demi-prisme placé en croix entre deux plaques de fer parallèles, ayant 0 m. 02 de largeur.

(3) Résistances calculées par la formule $R = \frac{3\,Fl}{2\,bh^2}$ qui devient, pour $l = 10$, en appelant a le côté du prisme : $R = \frac{15\,F}{a^3}$.

ec divers types d'éprouvettes.

TRACTION.			COMPRESSION.			CHOC — COMPRESSION.					
						NOMBRE MOYEN DE COUPS D'UN MOUTON DE 3 KILOGRAMMES nécessaire pour produire la rupture par écrasement.					
						PETITS PRISMES 0 m. 02 × 0 m. 02 (2).			GROS PRISMES 0 m. 04 × 0 m. 04 (1).		
						Hauteur de chute.			Hauteur de chute.		
ETITES QUETTES 5 cm².	GROSSES BRIQUETTES 16 cm².	GROS PRISMES 0 m. 04 × 0 m. 04.	DEMI-GROS PRISMES (1).	PETITS CUBES (0 m. 04)³	GROS CUBES (0 m. 07)³	0 m. 05.	0 m. 10.	0 m. 20.	0 m. 20.	0 m. 40.	0 m. 60.
57,65	174,20	168,40	1535	1285	4094	1,50	1,00	1,00	6,23	2,64	1,88
50,15	130,00	124,50	1177	1225	3340	1,30	1,00	1,00	4,35	2,11	1,88
58,25	120,17	121,20	1090	1172	3459	1,70	1,05	1,00	3,83	2,09	1,90
93,40	224,90	288,40	2452	2263	6480	2,15	1,70	1,00	11,12	4,12	2,75
97,25	203,10	203,30	2357	2358	5835	3,30	1,05	1,00	11,65	4,64	3,05
94,15	197,80	195,61	2343	1842	5594	3,85	2,15	1,15	10,72	3,88	2,50
18,90	250,26	305,15	2890	2549	8197	3,90	1,80	1,00	14,53	5,45	4,05
25,65	257,60	263,30	2992	2380	8437	10,10	3,50	1,05	23,95	6,41	4,33
21,50	267,65	260,56	2708	3071	8270	7,10	2,85	1,15	23,00	7,20	4,37
11,53	10,89	10,52	95,94	80,31	81,88						
12,03	8,12	7,78	73,53	76,56	66,80						
11,65	7,51	7,57	68,12	73,22	69,18						
18,68	14,05	18,02	153,22	141,40	129,60						
19,45	12,69	12,70	147,28	147,34	116,70						
18,83	12,36	12,23	146,44	115,10	111,88						
13,78	15,64	19,07	180,62	159,28	163,93						
25,13	16,10	16,45	186,97	205,00	168,73						
24,30	16,73	16,29	169,22	191,94	165,40						
8,80	5,08	10,00	5,90	5,25	3,86	33,3	0	0	16,6	18,8	17,0
5,95	6,44	13,10	4,76	4,95	3,67	36,1	0	0	16,2	15,2	17,0
8,55	7,55	9,40	5,65	6,12	2,50	27,7	21,4	0	31,4	13,9	15,3
9,48	8,62	11,15	6,59	6,60	4,25	16,8	27,7	0	13,1	17,3	16,0
7,52	4,93	12,10	4,45	4,74	1,61	15,3	21,4	0	16,3	16,4	13,4
6,54	7,60	10,22	4,45	8,33	3,53	15,3	27,4	32,0	20,7	24,0	31,6
13,30	13,55	14,80	7,90	7,38	3,54	21,5	22,2	0	20,1	16,0	36,6
7,45	6,84	8,70	6,18	6,44	1,66	25,1	21,6	21,4	30,8	16,5	20,8
8,60	6,84	8,90	6,03	5,51	1,61	12,0	12,8	32,0	14,4	21,8	20,0
8,46	7,49	10,95	5,75	6,15	2,91	22,6	(4) 22,1	(4) 28,5	19,9	17,8	20,9
106	100	97	120	100	102						
148	100	96	96	100	87						
155	100	100	93	100	95						
143	100	128	109	100	92						
154	100	100	100	100	80						
153	100	99	127	100	97						
152	100	122	113	100	103						
157	100	102	91	100	82						
145	100	98	88	100	86						
146	.....	105	104	.....	92						
15,6	.....	12,0	13,8	.....	8,4						

Dans ces deux moyennes, on n'a pas tenu compte des écarts moyens égaux à 0.
En supprimant le premier résultat (106), la moyenne se trouverait portée à 151 et l'écart moyen réduit à 5,0.

SUR

LA QUANTITÉ D'EAU À EMPLOYER

POUR LE GÂCHAGE

DES MORTIERS NORMAUX D'ESSAI.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. R. FERET.

Dans ses vingt-deuxième et vingt-troisième séances (3 mars 1893), le Comité d'études a adopté pour les essais normaux au mortier sableux deux types de mortiers, l'un sec et battu, obtenu avec un sable passant à la tôle perforée à trous de 1 mm. 5 et retenu par la tôle à trous de 1 mm. 0, l'autre plastique et non battu, obtenu avec un sable composé par parties égales des trois grosseurs de grains (2,0 — 1,5), (1,5 — 1,0) et (1,0 — 0,50).

En même temps, il a modifié la nature du sable normal en substituant au quartzite moulu employé jusqu'alors en France un sable naturel presque exclusivement siliceux à grains plus arrondis.

Cette modification entraînait nécessairement celle de la proportion d'eau à employer pour le gâchage des mortiers battus. D'autre part, il devenait nécessaire de définir exactement la proportion d'eau correspondant aux mortiers plastiques adoptés, dont le type n'avait pas été prévu dans l'étude spéciale que nous avions faite au nom du Sous-Comité[1], sur le choix du meilleur mortier normal d'essai.

Chargé par le Sous-Comité de combler cette lacune, nous avons fait venir une quantité suffisante de sable brut de Leucate, pris au même point que les échantillons cités par M. l'Inspecteur général Durand-Claye dans son rapport, et dont le tamisage[2] nous a donné les résultats suivants :

Grains restant sur la tôle à trous de 2 millimètres	6,1 p. 100
Grains (2,0 — 1,5)	19,8
Grains (1,5 — 1,0)	60,9
Grains (1,0 — 0,5)	11,9
Grains passant à la tôle à trous de 0,5	1,3
TOTAL	100,0

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. DURAND-CLAYE, *président;* ALEXANDRE, CANDLOT, DEBRAY, FERET, LE CHATELIER (Henri), RIBAUCOUR, SIMÉON, VIALLET.

[2] Nous avons constaté que le tamisage de ce sable rond au moyen des tôles perforées était assez difficile par suite de l'obstruction des trous par les grains de sable. Même en brossant fréquemment les tôles, on avait peine à les débarrasser complètement des grains qui s'y encastraient.

La partie utilisable constituait donc 92,6 p. 100 du sable brut et se décomposait en :

Grains (2,0—1,5)	21,3 p. 100.
Grains (1,5—1,0)	65,8
Grains (1,0—0,5)	12,9

Ce sont les sables ainsi obtenus qui nous ont servi pour les essais qui vont être décrits.

1° Mortiers secs battus.

On ne peut, comme pour les pâtes de ciment pur, définir la consistance des mortiers secs battus par l'enfoncement d'une sonde cylindrique de dimensions et de poids donnés. Cette sonde, en effet, ne pénètre pas dans de pareils mortiers.

On ne peut non plus fixer une proportion d'eau uniforme à employer avec tous les agglomérants, car, suivant leur nature et leur finesse, ceux-ci, même après leur mélange avec le sable, exigent des proportions d'eau différentes pour donner des mortiers de même aspect.

Dans notre rapport sur la composition à donner aux mortiers d'essai, nous avions été amené à proposer de calculer, pour des mortiers battus de même dosage, l'eau qu'il conviendrait d'employer pour 1 kilogramme de mélange d'agglomérant et de sable, en ajoutant, quel que fût l'agglomérant employé, une même quantité d'eau constante à celle qui correspondrait à la consistance normale du poids d'agglomérant pur entrant dans le mortier.

Dans nos nouvelles expériences faites avec le sable de Leucate (1,5—1,0), nous avons essayé d'appliquer la même formule à divers agglomérants très différents, en cherchant quelle constante donnaient les mortiers de meilleure consistance pour chacun des trois dosages normaux 1 : 2, 1 : 3 et 1 : 5 adoptés par le Comité.

Le tableau A ci-après, qui relate les résultats obtenus par un même opérateur, montre que, même pour des mortiers de même dosage, il est difficile d'adopter la même constante pour tous les agglomérants; le poids d'eau qu'il convient d'ajouter à celui qui correspondrait à la consistance normale du poids d'agglomérant entrant dans le mortier, si on le gâchait pur, est d'autant plus faible que l'agglomérant exige plus d'eau pour être gâché en pâte pure.

En présence de ce résultat, on peut être tenté d'adopter, pour chaque richesse de mortier, diverses constantes dont chacune correspondrait à une classe particulière d'agglomérants. Avec les mortiers 1 : 3, on pourrait choisir, par exemple, les constantes suivantes :

30 grammes pour les ciments de grosse mouture exigeant moins de 23 p. 100 de leur poids d'eau pour être amenés en pâte pure de consistance normale ;

20 grammes pour les ciments portlands de mouture ordinaire ou fine, certains ciments rapides et, en général, tous les produits exigeant, en pâte pure, entre 23 et 30 p. 100 de leur poids d'eau ;

10 grammes pour certains ciments rapides, ciments de grappiers et ciments de laitier, pour les chaux hydrauliques et, en général, tous les produits exigeant plus de 30 p. 100 de leur poids d'eau en pâte pure.

On remarque que les proportions d'eau ainsi calculées sont notablement plus faibles que celles que l'on a employées jusqu'à présent. Cette différence tient en grande partie à ce que les grains du sable de Leucate sont plus arrondis que ceux du quartzite moulu.

Il paraît difficile de réduire davantage le nombre des constantes. Si, par exemple, on adoptait 25 grammes pour les deux premières catégories de ciments au lieu de 30 et 20 grammes, certains des mortiers obtenus seraient trop secs et d'autres trop mouillés pour pouvoir être battus de la même manière.

Dans ces conditions, la règle qui consiste à ajouter certaines constantes à la proportion d'eau correspondant à l'agglomérant pur devient très compliquée, puisqu'elle force à retenir plusieurs constantes distinctes pour chaque dosage ; en outre, elle aurait le grave inconvénient de mettre dans des conditions différentes des produits très voisins situés de part et d'autre de l'une des limites adoptées.

Une étude attentive des résultats relatés au tableau A nous a montré qu'on pouvait au contraire réunir dans une même formule non seulement tous les mortiers de même dosage faits avec des agglomérants de même nature, mais même tous les mortiers secs battus de richesse quelconque faits avec un agglomérant quelconque et le sable de Leucate (1,5—1,0).

Si l'on appelle A le poids (en kg.) d'agglomérant entrant dans 1 kg. de mélange sec et N le poids (en g.) d'eau nécessaire pour amener en 5 minutes 1 kg. d'agglomérant à l'état de pâte pure de consistance normale, on obtient des mortiers très comparables en calculant le poids E (en g.) d'eau à prendre pour 1 kg. de mélange sec par la formule

$$E = 2/3\,NA + 45,$$

c'est-à-dire en augmentant de 45 grammes les deux tiers du poids d'eau qui corrrespondrait à la consistance plastique normale du poids d'agglomérant pur entrant dans 1 kg. du mélange sec employé pour la fabrication du mortier[1].

Les diagrammes de gauche de la planche II, obtenus en prenant pour abscisses les valeurs de N et pour ordonnées les divers poids d'eau essayés et en indiquant à côté de chaque point l'aspect du mortier correspondant, permettent de vérifier la concordance de la formule avec les résultats obtenus.

A la vérité, la proportion d'eau obtenue par le calcul peut paraître un peu trop faible pour les mortiers maigres et un peu trop forte pour les mortiers riches, mais il est bien difficile de comparer la consistance de mortiers *secs* de compositions différentes, les riches paraissant toujours bien liés, tant que la proportion d'eau n'est pas extrêmement réduite, et les maigres étant au contraire toujours très difficiles à lier, quelle que soit la quantité d'eau qu'on leur combine. D'ailleurs, avec ces derniers mortiers, dès que l'eau est en proportion un peu trop forte, elle s'échappe à travers les grains de sable en entraînant avec elle une partie de l'agglomérant.

En somme, la formule que nous proposons s'applique d'une manière très suffisante à tous les mortiers battus au sable de Leucate (1,5 — 1,0). Elle permet de définir exactement la quantité d'eau à adopter dans les divers essais normaux et joint à sa simplicité l'avantage de fournir une règle s'appliquant indistinctement à tous les agglomérants possibles[2].

2° Mortiers normaux plastiques.

On a proposé de définir la consistance des mortiers normaux plastiques au sable composé (2,0—1,5)+(1,5—1,0)+(1,0—0,5), en exigeant qu'après introduction de ces mortiers dans une boîte, on ne vît pas ressuer d'eau à leur surface en les lissant, tandis qu'au contraire quelques coups de truelle frappés contre les parois de la boîte dussent suffire à provoquer ce phénomène.

C'est là un caractère bien vague et du même genre que l'ancienne définition de la consistance normale des pâtes pures, abandonnée par le Comité d'études. Il est à craindre que divers opérateurs apprécient diversement si l'eau ressue ou non et que, pour tel opérateur, aucune proportion d'eau ne donne simultanément à un mortier les deux propriétés requises. C'est ce qui ressort nettement des deux tableaux B et C ci-après, qui correspondent à des essais faits soit sur des mêmes mortiers par divers opérateurs, soit par un même opérateur sur des mortiers de plus en plus mouillés.

D'ailleurs, étant donné qu'on a déjà forcément deux règles différentes pour déterminer la quantité d'eau normale des pâtes pures et celle des mortiers secs battus, il faut éviter d'en avoir encore une autre pour les mortiers plastiques, et il est naturel de chercher à leur appliquer telle ou telle des deux premières.

Le tableau C rend compte d'essais faits en vue de définir la consistance normale des mortiers plastiques comme celle des pâtes pures au moyen de la sonde de 10 millimètres de diamètre. En adoptant pour la sonde le même poids de 300 grammes, on trouve que l'épaisseur non traversée doit être d'environ 35 mm. pour les mortiers 1 : 2 et 1 : 3, ce qui équivaut à un enfoncement de seulement 5 mm., et que, pour les mortiers 1 : 5, l'enfoncement correspondant à la meilleure consistance est encore plus faible, soit de 1 à 2 mm. Dans ces conditions, la méthode doit manquer de sensibilité. D'ailleurs, on remarque que les ciments riches

[1] Si l'on veut se contenter d'énoncer la règle relative à un dosage particulier, la formule pourra être simplifiée en calculant immédiatement le produit 2/3 A. Par exemple, dans le cas du mortier 1 : 3, on aura $2/3\,A = 2/3 \times 1/4 = 1/6$, et on pourra dire :

« La proportion d'eau à employer pour mouiller 1 kg. de mélange sera calculée en ajoutant 45 g. au sixième du poids d'eau nécessaire pour amener 1 kg. d'agglomérant pur à l'état de pâte à consistance normale. »

Pour les mortiers 1 : 2 et 1 : 5, les produits 2/3 A seront respectivement égaux à 2/9 et à 1/9.

Toutefois cet énoncé a l'inconvénient de ne pas mettre en évidence la généralité de la formule.

[2] Il peut paraître paradoxal que, dans certains cas, la proportion d'eau calculée pour le mortier puisse être inférieure à celle qui correspondrait à la consistance normale de l'agglomérant pur qu'il contient. C'est là pourtant un fait bien établi par l'expérience et, d'ailleurs, il ne faut pas oublier qu'il s'agit de mortiers secs destinés à être damés, d'une consistance beaucoup plus ferme que la consistance normale des pâtes pures.

en gros grains donnent des mortiers se laissant pénétrer bien plus difficilement que les autres, même à consistance égale, et ne pourraient sans doute pas être régis par la même loi.

D'autres essais, faits en portant à 1 kg. le poids de la sonde, ont montré que, pour les mortiers 1 : 2, l'épaisseur non traversée à rechercher était d'environ 20 mm., ce qui permettait de déterminer très exactement la proportion d'eau, mais que, pour les mortiers 1 : 5, l'épaisseur non traversée était toujours très faible. D'ailleurs, les gros ciments semblaient encore faire exception à la loi.

La dernière partie du tableau B relate des essais faits par les divers opérateurs sur les mortiers étudiés, au moyen de la sonde de 1 kg. Si l'on considère qu'à un écart de 1 p. 100 dans la proportion d'eau correspond une différence d'enfoncement de près de 15 mm., on voit que les résultats trouvés ont été assez comparables.

Néanmoins, pour les raisons indiquées plus haut, nous avons renoncé à ce procédé, et cherché si l'on ne pourrait pas, comme pour le cas des mortiers secs destinés à être battus, calculer la proportion d'eau de gâchage en fonction de celle qui correspond à la consistance normale des pâtes pures.

Les diagrammes de droite de la planche II, au moyen desquels nous avons représenté les résultats du tableau C, par la même méthode qui nous avait servi à établir ceux de gauche, montrent que, quels que soient le dosage essayé (1 : 2, 1 : 3 ou 1 : 5) et la nature de l'agglomérant, on peut calculer très exactement, dans tous les cas, la proportion d'eau correspondant à la meilleure consistance plastique des mortiers au sable composé, en appliquant la formule

$$E = 2/3\,NA + 60,$$

c'est-à-dire en augmentant de 60 grammes les deux tiers du poids d'eau qui correspondrait à la consistance normale du poids d'agglomérant pur entrant dans 1 kg. du mélange sec employé pour la fabrication du mortier[1].

Cette formule, identique à celle des mortiers secs sauf en ce qui concerne la valeur de la constante, présente, par suite, les mêmes avantages qu'elle. Nous avons vérifié par des essais *a posteriori* faits sur quatre nouveaux agglomérants très différents les uns des autres, que, pour tous les dosages compris entre 1 : 1 et 1 : 5, elle donnait des mortiers qui, après gâchage de 5 minutes (en opérant sur 1 kg. de mélange sec), présentaient exactement une même consistance convenant parfaitement pour l'exécution des essais.

3° Mortiers de chaux grasse, trass et sable normal (1,5 — 1,0).

Bien que n'ayant pas été chargé d'étudier cette question, nous avons cherché, en vue de l'unification des formules, si l'on ne pourrait pas calculer, de la même manière que pour les autres mortiers, l'eau à employer pour le mortier de chaux, trass et sable que le rapporteur chargé de l'étude des pouzzolanes a proposé d'adopter comme normal, mortier sec et battu composé de 167 g. de chaux grasse, 333 g. de trass pulvérisé et 500 g. de sable normal (1,5 — 1,0). Toutefois, vu les variations possibles de la nature et de la finesse du trass, on ne pouvait songer à calculer l'eau en partant de la proportion correspondant à la consistance normale de la chaux pure. Il était plus logique de prendre comme base la proportion déterminée pour la pâte normale de 1 de chaux pour 2 de trass, de telle sorte que, suivant la règle déjà admise par le Comité, la sonde de consistance s'arrêtât dans cette pâte à 30 mm. du fond de la boîte.

Des essais faits avec divers échantillons de trass et de chaux nous ont montré que la formule $E = 2/3\,NA + 45$ trouvée pour les mortiers battus en général s'appliquait encore parfaitement au mortier normal de chaux, trass et sable, N représentant cette fois la proportion d'eau correspondant à la consistance normale, définie comme il vient d'être dit, de la pâte : 1 chaux + 2 trass[2].

Boulogne, le 5 avril 1893.

R. FERET.

---

[1] Voir le renvoi [1] de la page 105.

[2] Dans le cas actuel, $2/3\,A = 2/3 \times 1/2 = 1/3$, et la règle peut s'énoncer en disant qu'on ajoutera 45 g. au tiers du poids d'eau correspondant à la consistance normale de la pâte fournie par 1 kilogramme du mélange de chaux et de trass. Mais on n'aperçoit plus alors la généralité de la formule.

EXPLICATION

DES ABRÉVIATIONS EMPLOYÉES DANS LES TABLEAUX ET LES DIAGRAMMES DE LA PLANCHE II.

1° Poids.

A = poids (en kg.) d'agglomérant contenu dans 1 kg. de mélange sec.
N = poids (en g.) d'eau correspondant à la consistance normale de 1 kg. d'agglomérant pur.
E = poids (en g.) d'eau employée pour mouiller 1 kg. de mélange sec.

2° Aspect du mortier.

SS : beaucoup trop sec.....
S : trop sec.....
s : un peu sec.....
Bs : bon, quoique peut-être un peu sec.....
B : bon.....
Bm : bon, quoique peut-être un peu mouillé.....
m : un peu mouillé.....
M : trop mouillé.....
} relativement au type spécial de mortier (sec ou plastique) qu'on a en vue.

MM : presque liquide.

TABLEAU A.

Mortiers secs battus au sable (1,5 – 1,0).

(Observations faites par un même opérateur.)

DÉSIGNATION DE L'AGGLOMÉRANT.	NATURE de L'AGGLOMÉRANT.	N.	ASPECT DU MORTIER.													
			MORTIER 1 : 5 E =				MORTIER 1 : 3 E =					MORTIER 1 : 2 E =				
			NA + 20.	NA + 30.	NA + 40.	NA + 50.	NA.	NA + 10.	NA + 20.	NA + 30.	NA + 40.	NA — 20.	NA — 10.	NA	NA + 10.	NA + 20.
A	Ciment portland de grosse mouture	220	s	B	Bm	"	"	"	s	B	Bm	"	s	Bs	B	Bm
B	Ciment portland de mouture moyenne	235	"	Bs	B	Bm	"	Bs	B	Bm	"	"	S	Bs	B	m
C	Ciment portland de fine mouture	255	"	Bs	B	Bm	"	Bs	Bm	m	"	"	s	B	Bm	"
D	Ciment à prise rapide	290	Bs	B	Bm	"	"	Bs	B	M	"	"	S	B	Bm	"
E	Ciment de grappiers	350	s	Bs	B	Bm	s	B	m	M	"	"	B	B	m	"
F	Ciment de laitier	360	Bs	B	Bm	"	Bs	B	Bm	M	"	"	B	B	M	"
G	Chaux hydraulique	450	Bs	B	Bm	"	Bs	B	Bm	M	"	s	B	B	m	"

TABLEAU B.

Mortiers plastiques au sable composé : (2,0 – 1,5) + (1,5 – 1,0) + (1,0 – 0,50).

(Appréciations de 6 opérateurs différents.)

QUESTIONS POSÉES AUX OPÉRATEURS.	DÉSIGNATION des OPÉRATEURS.	MORTIERS À 3 PARTIES DE SABLE POUR 1 PARTIE D'AGGLOMÉRANT.					
		Ciment portland			Chaux hydraulique		
		E = 120.	E = 140.	E = 160.	E = 140.	E = 160.	E = 180.
Aspect du mortier	I	s	Bs	B	S	s	Bm
	II	S	s	B	S	s	B
	III	S	s	M	S	m	M
	IV	s	B	M	S	B	M
	V	s	B	m	S	B	M
	VI	s	m	M	s	m	M
L'eau ressue-t-elle quand on lisse le mortier dans la boîte ?	I	non	oui	oui	non	non	oui
	II	non	un peu	oui	non	un peu	oui
	III	un peu	oui	beaucoup	non	oui	beaucoup
	IV	un peu	oui	oui	un peu	oui	oui
	V	non	un peu	oui	non	un peu	oui
	VI	un peu	oui	oui	un peu	oui	oui
L'eau ressue-t-elle quand on frappe quelques coups de truelle contre les parois de la boîte ?	I	non	oui	oui	non	non	oui
	II	non	oui	oui	non	très peu	oui
	III	non	oui	oui	non	oui	oui
	IV	oui	oui	oui	non	oui	oui
	V	un peu	oui	oui	non	oui	oui
	VI	un peu	oui	oui	un peu	oui	oui
Épaisseur non traversée par la sonde de 10 mm. de diamètre pesant 1 kg	I	"	"	"	"	"	"
	II	39,5	36	22	35,5	36	12
	III	39,5	38,5	18	39	16,5	8
	IV	39,5	35	24	40	28	12,5
	V	39,5	35	13	39,5	23,5	8
	VI	39	33	16	38,5	20,5	6

TABLEAU C.

Mortiers plastiques au sable composé : (2,0 – 1,5) + (1,5 – 1,0) + (1,0 – 0,50).

(Observations faites par un même opérateur.)

Désignation de l'échantillon.	Nature de l'agglomérant.	N.	E.	Mortier 1 : 5. Aspect du mortier.	Épaisseur non traversée par la sonde de 300 g.	Épaisseur non traversée par la sonde de 1 kg.	L'eau ressue-t-elle quand on lisse?	L'eau ressue-t-elle quand on frappe?	Mortier 1 : 3. Aspect du mortier.	Épaisseur non traversée par la sonde de 300 g.	L'eau ressue-t-elle quand on lisse?	L'eau ressue-t-elle quand on frappe?	Mortier 1 : 2. Aspect du mortier.	Épaisseur non traversée par la sonde de 300 g.	Épaisseur non traversée par la sonde de 1 kg.	L'eau ressue-t-elle quand on lisse?	L'eau ressue-t-elle quand on frappe?
A	Ciment portland de grosse mouture.....	220	70	S	39,5	39,5	non	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			80	s	39,5	39,5	non	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			90	B	39	38,5	non	non	S	40	non	non	"	"	"	"	"
			100	m	38,5	38	très peu	non	s	38,5	non	très peu	s	40	39,5	un peu	non
			110	M	38	37	oui	un peu	Bm	37	très peu	peu	Bs	38,5	37	oui	oui
			120	"	"	"	"	"	M	34	oui	oui	m	37	31	oui	oui
			130	"	"	"	"	"	MM	27	beauc^p	beauc^p	M	35	25	oui	oui
			140	"	"	"	"	"	"	"	"	"	MM	30	15	beauc^p	beauc^p
B	Ciment portland de mouture moyenne..	235	80	s	39,5	38,5	non	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			90	Bm	39	38	très peu	non	S	40	non	non	"	"	"	"	"
			100	M	38	36,5	oui	très peu	Bs	39	oui	oui	s	39	38,5	un peu	non
			110	MM	36,5	35	oui	oui	m	34,5	oui	oui	Bs	37	30	oui	oui
			120	"	"	"	"	"	M	21	oui	oui	m	30	13	oui	oui
			130	"	"	"	"	"	MM	8	beauc^p	beauc^p	M	18	6	beauc^p	beauc^p
C	Ciment portland de fine mouture.....	255	80	Bs	39	38,5	très peu	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			90	m	38,5	37,5	très peu	non	S	40	non	très peu	"	"	"	"	"
			100	M	37	35,5	oui	oui	B	36	oui	oui	S	39	38,5	très peu	non
			110	MM	36	32	oui	oui	m	24	oui	oui	s	37	29	oui	oui
			120	"	"	"	"	"	M	11	oui	oui	B	21	9	oui	oui
			130	"	"	"	"	"	"	"	"	"	M	9	5	oui	oui
D	Ciment à prise rapide	290	90	B	40	39,5	peu	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			100	m	39	38	oui	peu	s	39	très peu	non	"	"	"	"	"
			110	M	38	37	oui	oui	B	38	oui	très peu	s	40	39,5	un peu	un peu
			120	MM	35	31	oui	oui	m	36	oui	oui	Bs	38	37	oui	oui
			130	"	"	"	"	"	M	33	oui	oui	m	34	20	oui	oui
			140	"	"	"	"	"	MM	22	oui	oui	M	12,5	6	oui	oui
E	Ciment de grappiers..	350	90	s	39	38	très peu	très peu	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			100	B	38,5	37	oui	très peu	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			110	m	37,5	33	oui	oui	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			120	M	32	22	oui	oui	s	33,5	oui	oui	S	40	40	non	non
			130	MM	25	10,5	oui	oui	m	11	oui	oui	s	37	28	un peu	oui
			140	"	"	"	"	"	M	4	oui	oui	B	19	8,5	oui	oui
			150	"	"	"	"	"	"	"	"	"	M	8	5	oui	beauc^p
F	Ciment de laitier.....	360	90	s	40	39,5	non	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			100	Bm	39,5	38,5	oui	oui	S	39,5	non	non	"	"	"	"	"
			110	M	38	35	oui	oui	s	37,5	oui	oui	S	40	39,5	non	non
			120	MM	35	23	oui	oui	Bm	30	oui	oui	s	38,5	37,5	oui	oui
			130	"	"	"	"	"	M	17	oui	oui	B	35,5	17	oui	oui
			140	"	"	"	"	"	MM	6,5	beauc^p	beauc^p	m	13	5	oui	oui
G	Chaux hydraulique..	450	90	s	40	39,5	très peu	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			100	Bs	39,5	39	peu	non	"	"	"	"	"	"	"	"	"
			110	m	38,5	38	oui	peu	SS	40	non	non	"	"	"	"	"
			120	M	37	34	oui	oui	S	39	très peu	non	"	"	"	"	"
			130	MM	32	21	oui	oui	B	36	oui	oui	SS	40	39,5	non	non
			140	"	"	"	"	"	m	26	oui	oui	S	40	39,5	non	non
			150	"	"	"	"	"	M	10	beauc^p	beauc^p	s	38	32,5	oui	oui
			160	"	"	"	"	"	"	"	"	"	B	27	10	oui	oui
			170	"	"	"	"	"	"	"	"	"	M	9	5	beauc^p	beauc^p

SUR

LA PRISE DES PÂTES DE CIMENT.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR MM. P. ALEXANDRE ET R. FERET.

Dans ses séances des 1er et 2 avril 1892, consacrées en grande partie à la discussion des questions se rattachant à la prise des pâtes de ciment, le Comité d'études de la Section B a renvoyé au Sous-Comité[1] l'examen d'un certain nombre de points sur lesquels on n'avait pu se prononcer immédiatement en suffisante connaissance de cause.

Chargés de procéder à des expériences et de formuler des propositions, nous avons cru devoir reprendre en même temps les quelques questions de détail déjà examinées par le Comité, de manière à présenter un rapport d'ensemble réunissant dans ses conclusions toutes les dispositions à recommander pour les essais de prise.

I. — CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA PRISE.

On désigne généralement par le mot *prise* le durcissement progressif qui transforme en une masse solide la pâte obtenue en malaxant, avec de l'eau, les matériaux employés à la confection des mortiers. La prise, que nous avons à étudier dans ce rapport, est celle de la pâte de ciment.

Faut-il admettre que la prise commence dès l'instant où le ciment est mis au contact de l'eau, ou bien, au contraire, est-ce seulement au bout d'une certaine période de temps que se produisent les réactions qui amènent le durcissement? A l'appui de la seconde hypothèse, M. H. Le Chatelier a cité l'exemple du plâtre qui, mis dans l'eau, s'y dissout et ne cristallise qu'après plusieurs minutes, en manifestant alors une prise nette et presque instantanée. Avec le ciment, corps hétérogène, la transition est rarement aussi brusque.

Au point de vue pratique, l'instant qu'il importerait de déterminer, et d'appeler *début de prise*,

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

est celui à partir duquel on ne peut plus regâcher la pâte sans troubler la marche de son durcissement et modifier la résistance finale. Cette détermination n'est évidemment pas aisée.

Celle de la *fin de prise* ne présente pas moins de difficultés. Il ne faudrait pas entendre par ce mot l'instant où la pâte acquiert son maximum de dureté; car on sait qu'en général la période de durcissement se prolonge pendant plusieurs mois et même plusieurs années. Il est plus conforme aux idées courantes de considérer la fin de prise comme correspondant à l'instant où la matière, jusqu'alors plus ou moins pâteuse, passe à l'état de corps solide; malheureusement, la physique ne définit pas l'état solide avec une précision suffisante pour qu'on puisse déterminer nettement le point de passage.

On ne saurait donc adopter, pour le début comme pour la fin de prise, qu'une définition conventionnelle.

Avant que le progrès n'eût introduit dans l'essai des ciments l'emploi d'appareils mécaniques plus ou moins compliqués, on regardait le ciment comme pris quand il était capable de supporter la pression du pouce poussé par un effort moyen de l'avant-bras. Cette méthode est même encore indiquée dans certains cahiers des charges.

Depuis, on est convenu d'appeler commencement ou début de prise l'instant où une aiguille cylindrique ou prismatique, de poids et de section déterminés, cesse de pouvoir traverser entièrement une masse de pâte d'épaisseur connue, et fin de prise, celui où la même aiguille ne laisse plus de trace apparente, quand on la pose doucement sur la surface de la pâte solidifiée.

Le début et la fin de prise ainsi définis doivent évidemment varier avec les dimensions de l'aiguille et le poids dont on la charge. C'est ce que confirment des expériences de M. Feret relatées dans un rapport présenté en 1889 à la Commission des chaux, ciments et mortiers [1], expériences qui font entrevoir la possibilité de déterminer rigoureusement l'allure de la prise d'une pâte donnée quelconque, en étudiant les consistances acquises par cette pâte après des durées convenablement échelonnées et définissant chacune d'elles par un ensemble de caractères.

Déjà, dans un ordre d'idées un peu différent, M. Bonnami, dont la mort prématurée a interrompu les intéressantes recherches, avait proposé de déterminer, après des intervalles égaux, le poids supporté sans dépression par la pâte. En prenant pour coordonnées les temps et ces poids, il obtenait une courbe indiquant ce qu'il appelait *l'allure de solidification initiale* du produit considéré.

Généralisant la méthode de M. Bonnami, M. H. Le Chatelier a déterminé les efforts nécessaires pour obtenir à chaque instant de la prise, avec une même aiguille, une série d'enfoncements donnés. Dans une note qu'il a bien voulu nous adresser au sujet de ces expériences [2], il conclut qu'il y aurait lieu de considérer comme le début et la fin de la prise les instants où les efforts nécessaires pour faire pénétrer une même aiguille à une même profondeur de 20 millimètres, dans une masse de pâte de 50 millimètres d'épaisseur, correspondent à des poids donnés, et de déterminer à des instants également espacés, depuis le gâchage jusqu'à la fin de prise mesurée par un essai sommaire préalable, la série des efforts correspondant à ce même enfoncement.

Enfin on pourrait encore, comme on l'a proposé lors de la discussion générale, adopter comme criterium de la prise le dégagement de chaleur qui l'accompagne. Nous ne parlerons pas ici de ce genre d'essais, qui ne nous paraît guère applicable qu'aux ciments rapides. D'ailleurs, l'étude générale des phénomènes d'échauffement a été confiée à deux de nos collègues, pour faire l'objet d'un rapport spécial.

Dans un certain nombre de cahiers des charges, on se contente de viser la *durée de prise*, c'est-à-dire le temps écoulé entre le gâchage et la prise complète. C'est là une notion insuffisante; car divers ciments, dont la consistance est la même au bout d'un même temps, peuvent avoir manifesté à des moments très différents les premiers symptômes de la prise et avoir ensuite durci avec des vitesses inégales. Il est donc nécessaire de compléter cette indication par celle du début de prise, de quelque manière qu'il soit d'ailleurs défini.

L'étude complète de la prise comporterait la représentation graphique des variations progressives de l'un quelconque des trois nombres qui mesurent l'enfoncement, la charge et la section de l'aiguille, quand on assigne aux deux autres des valeurs constantes déterminées. Toutefois, nous croyons qu'une étude de cette nature ne convient qu'à des recherches tout à fait spéciales,

[1] Voir un résumé de ces expériences. — Note I, page 127.
[2] Voir un extrait de cette note. — Note II, page 130.

pour lesquelles on doit laisser le champ libre aux expérimentateurs, et qu'il n'y a pas lieu pour la Commission de s'en occuper.

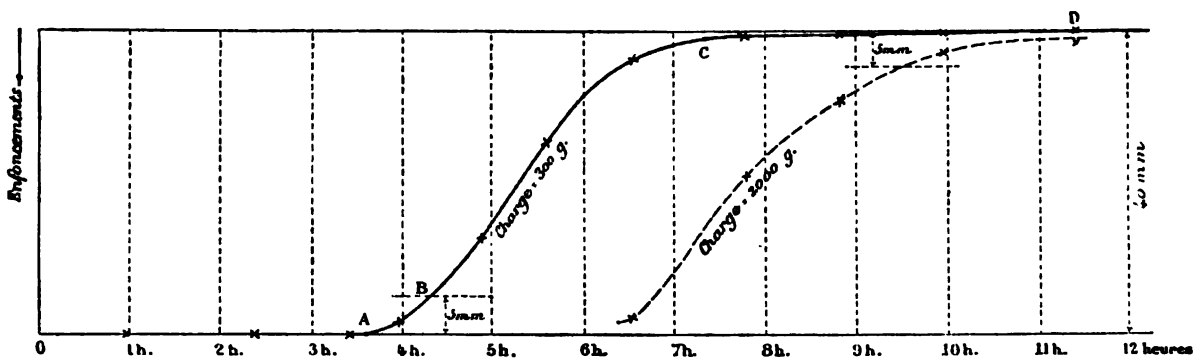
Nous nous bornerons donc à envisager le début et la fin de la prise, et à rechercher les meilleurs moyens de les définir et les déterminer.

II. — DÉBUT DE PRISE.

Aux termes du cahier des charges de Boulogne et de Calais, on appelle début de prise le moment où une masse de pâte de 40 millimètres d'épaisseur ne se laisse plus pénétrer totalement par une aiguille à section carrée de 1 millimètre de côté, chargée de 300 grammes, descendue progressivement et avec précaution. Cette définition est d'ailleurs commune à tous les cahiers des charges actuels, qui ne diffèrent guère entre eux que par quelques dispositions de détail, notamment en ce qui concerne la section de l'aiguille.

Lors de la discussion qui a eu lieu au sein du Comité d'études (séance du 2 avril 1892), l'un de nous a exposé que la courbe des enfoncements de l'aiguille à chaque instant de la prise (voir fig. 1) se détachait tangentiellement de l'horizontale correspondant au fond de la boîte, de sorte que le début de prise, point de contact de la courbe avec sa tangente (point A), devait être particulièrement difficile à déterminer.

Fig. 1.



PÂTE DE CIMENT PORLAND GÂCHÉE À L'EAU DE MER.

Temps écoulé depuis le gâchage...		3 h. 25	3 h. 58	4 h. 51	5 h. 35	6 h. 32	7 h. 48	8 h. 50	9 h. 59	11 h. 26
Enfoncement de l'aiguille cylindrique de 1 mm². sous une charge de..	300 g.	mm. 40	38,5	27	14,5	4	0,5	<0,5	<0,5	0
	2.000 g.	mm. "	"	"	"	38	19	9	3	2

Cette considération, à laquelle s'est jointe la crainte que l'expérience pût se trouver parfois faussée par la présence accidentelle de quelque gros grain de ciment entre l'extrémité de l'aiguille et le fond de la boîte, a porté le Comité à se demander s'il ne serait pas avantageux de substituer à la règle actuelle la détermination de l'instant où l'aiguille s'arrête à une distance donnée du fond de la boîte, à 5 millimètres par exemple (point B).

Quelques membres ont même pensé concilier les deux manières de faire, en proposant de porter à 45 millimètres l'épaisseur totale de la pâte, et d'adopter, comme début de prise, l'instant où l'aiguille s'arrête à 5 millimètres du fond, après avoir traversé une épaisseur de 40 millimètres, comme dans la pratique actuelle.

Bien que l'épaisseur traversée soit la même dans les deux cas, ce serait une erreur de croire que la règle proposée et celle qu'on applique actuellement doivent donner les mêmes résultats. Pour qu'il y ait concordance, il faudrait que la seule force entrant en jeu fût le frottement de la pâte contre les côtés de l'aiguille. Or il faut tenir compte aussi de la résistance exercée contre l'extrémité de l'aiguille par la couche de pâte interposée entre elle et le fond de la boîte, résistance qui, comme le montrent bien les expériences de M. H. Le Chatelier citées dans la note II, augmente très rapidement à mesure que l'aiguille se rapproche plus du fond. Des expériences directes, qui viennent confirmer des résultats cités lors de la discussion, et dont l'une est relatée par le tableau et les figures 2, 3 et 4 ci-après (p. 114),

ÉPAISSEUR TOTALE de la masse de pâte essayée.	TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LE GÂCHAGE.	0 h.	1 h.	1 h. 15	1 h. 30	1 h. 45	2 h.	2 h. 15	2 h. 30	2 h. 45	3 h.	3 h. 15	3 h. 30	3 h. 45	4 h.
mm.		mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
40	Épaisseur traversée.....	40	40	40	38,5	37	34	23	15,5	7	5	3	1	1	1
	Épaisseur non traversée.....	0	0	0	1,5	3	6	17	24,5	33	35	37	39	39	39
80	Épaisseur traversée.....	80	86	80	79	77	74	30	12	5	2	1	1	1	1
	Épaisseur non traversée.....	0	0	0	1	3	6	50	68	75	78	79	79	79	79
120	Épaisseur traversée.....	120	120	120	117,5	114	111,5	21	9,5	7	7	2	1	1	1
	Épaisseur non traversée.....	0	0	0	2,5	6	8,5	99	110,5	113	113	118	119	119	119

FIG. 2.

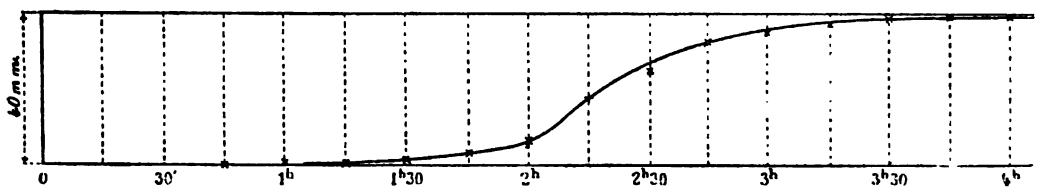


FIG. 3.

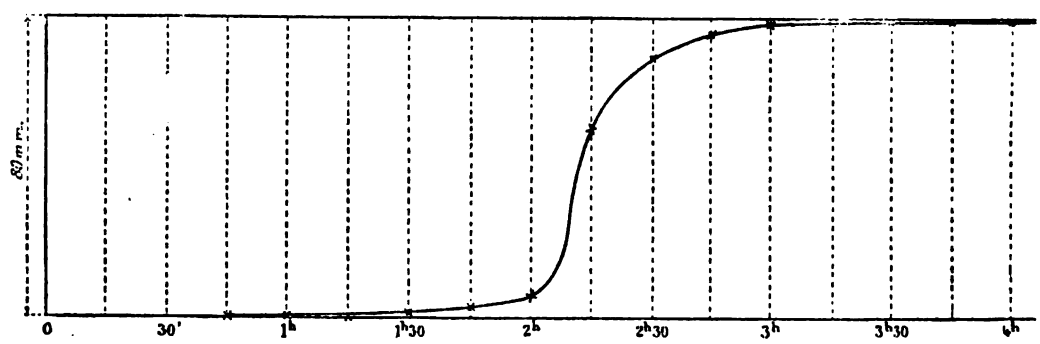
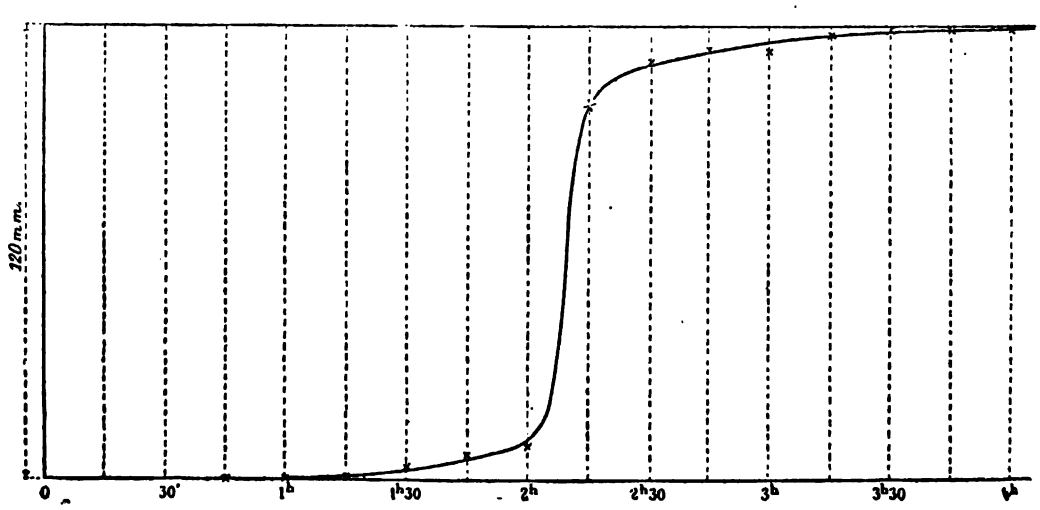


FIG. 4.



nous ont montré que, si l'on opère sur une même pâte dans des boîtes de hauteurs différentes, l'aiguille accuse le début de prise sensiblement en même temps dans toutes les boîtes, quelle que soit l'épaisseur de pâte à traverser, et que, pendant les premiers temps qui suivent ce début de prise, la hauteur restant à un même instant entre l'extrémité de l'aiguille et le fond de chaque boîte est à peu près la même, alors que les épaisseurs traversées diffèrent beaucoup. On doit donc admettre que, pendant cette période, le frottement latéral est négligeable, et que le tassement de la pâte entre l'extrémité de l'aiguille et le fond de la boîte intervient seul.

La prise continuant à se produire, l'influence du fond de la boîte diminue, celle du frottement latéral augmente, et il arrive un moment à partir duquel, la consistance étant devenue suffisamment ferme, les enfoncements après une même durée sont sensiblement les mêmes dans les diverses masses de pâte considérées, de sorte que, comme le début de prise, la fin de prise se produit à des moments peu différents dans toutes les boîtes.

L'époque correspondant à un enfoncement de 40 millimètres dans une couche de pâte de 45 millimètres de hauteur est donc bien distincte de celle où l'aiguille cesse de traverser complètement la même pâte dans une boîte de 40 millimètres. Dès lors, la transaction proposée est sans valeur et il n'y a aucune raison de modifier le nombre de 40 millimètres admis généralement aujourd'hui, aussi bien à l'étranger qu'en France, pour l'épaisseur totale de la masse de pâte à essayer.

Ce nombre adopté, on peut se demander comment le début de prise se trouve modifié, suivant qu'on le définit l'instant où l'aiguille cesse de traverser complètement la pâte, ou celui où elle s'arrête à 5 millimètres du fond.

Le tableau ci-dessous résume un certain nombre d'essais faits avec l'aiguille normale du cahier des charges de Boulogne sur différents produits gâchés à l'eau douce et à l'eau de mer et conservés à l'air pendant la prise dans une boîte de 40 millimètres de hauteur. Les durées indiquées ont été obtenues en relevant les abscisses des points A et B (voir fig. 1) sur chaque courbe.

NATURE des PRODUITS.	DÉSIGNATION.	PROPORTION D'EAU employée pour le gâchage. (Consistance normale.)	GÂCHAGE À L'EAU DOUCE.				GÂCHAGE À L'EAU DE MER.			
			ÉPOQUE où l'aiguille commence à ne plus traverser entièrement.	ÉPOQUE où l'aiguille s'arrête à 5 mm. du fond.	DIFFÉRENCE.	ÉCART relatif.	ÉPOQUE où l'aiguille commence à ne plus traverser entièrement.	ÉPOQUE où l'aiguille s'arrête à 5 mm. du fond.	DIFFÉRENCE.	ÉCART relatif.
			t	t'	$t'-t$	$\frac{t'-t}{t}$	t	t'	$t'-t$	$\frac{t'-t}{t}$
		p. 100.	h. min.	h. min.	min.		h. min.	h. min.	min.	
Ciments portlands artificiels.	A.	24	7	8	1	0,14	45	56	11	0,24
	B.	26	1 20	1 52	32	0,40	9 30	10 30	60	0,11
	C.	24,5	24	29	5	0,21	3 15	4 37	82	0,42
	D.	23	4 20	5 40	80	0,31	3 45	4 25	40	0,18
	E.	27,5	2 20	3 5	45	0,32	6 20	7 6	46	0,12
Ciments naturels.	F.	30	3 27	3 54	27	0,13	5 35	6 36	61	0,18
	G.	32,5	56	1 10	14	0,25	1 12	1 27	15	0,21
	H.	31	6 7	6 53	46	0,13	9	10 27	87	0,16
	J.	22,5	20	0 22	2	0,10	0 32	36	4	0,12
Ciments de laitier.	K.	29	2 11	2 17	6	0,05	2 47	3 8	21	0,20
	L.	26,5	5 30	7 12	102	0,31	5 30	8 8	158	0,48
	M.	30	3 20	3 48	28	0,14	4 50	5 26	36	0,12
Chaux hydrauliques	N.	36	3 30	4	30	0,14	7	8 27	87	0,21
	O.	45	8 45	10 37	112	0,21	8 15	9 35	80	0,16
	P.	44	7 30	9 30	120	0,27	9	12 30	210	0,39

On voit par ce tableau que le temps écoulé entre les deux instants considérés varie suivant les produits essayés, quelle qu'en soit d'ailleurs la nature, sans qu'on puisse établir aucune re-

lation constante permettant de déterminer l'un de ces instants, connaissant l'autre. En général, le retard correspondant aux 5 millimètres de pâte non traversée varie entre 10 et 40 p. 100 du temps mis par le ciment à atteindre le début de prise, tel qu'il est défini actuellement.

Il résulte de là que les deux modes d'essai ne sont pas équivalents.

On pourrait en imaginer une infinité d'autres basés soit, comme ceux-ci, sur la pénétration d'une aiguille, soit sur tout autre caractère capable de déceler les variations de consistance de la pâte. Nous nous bornerons à comparer les deux définitions du début de prise basées sur la détermination du point A (fond de la boîte) ou du point B (point à 5 millimètres du fond).

On a vu que l'inconvénient reproché à la définition actuelle était l'incertitude provenant du temps parfois assez long mis par la courbe à se détacher de sa tangente. On conçoit que, pour tout autre point de la courbe que le point de contact, l'erreur à craindre sur l'abscisse correspondant à une ordonnée fixée d'avance doive être moindre.

Rien ne prouve cependant que, bien que la *définition* du point B soit plus précise que celle du point A, la *détermination* expérimentale de l'époque correspondante soit plus facile et plus exacte. On peut se demander, en effet, s'il est bien aisé de saisir l'instant où l'aiguille pénètre exactement d'une quantité donnée.

Dans les expériences relatées ci-dessous, quatre opérateurs ont déterminé par chacune des deux méthodes en présence le début de prise de pâtes provenant d'une même gâchée et conservées identiquement de même dans quatre boîtes pareilles.

NATURE DES PRODUITS.	MILIEU de CONSERVATION des pâtes.	ÉPOQUE où L'AIGUILLE CESSE DE TRAVERSER complètement la pâte.				ÉPOQUE où L'AIGUILLE S'ARRÊTE à 5 mm. du fond.			
		Opérateur A.	Opérateur B.	Opérateur C.	Opérateur D.	Opérateur A.	Opérateur B.	Opérateur C.	Opérateur D.
		h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.
Divers ciments portlands	Air	6 55	6 55	6 53	6 56	7 30	7 31	7 32	8 8
	Air	1 39	1 38	1 31	1 37	1 50	1 49	1 40	1 45
	Air	45	45	44	45	49	50	49	48
	Air	59	58	55	?	1 3	1 2	1	58
	Air	7 31	5 53	6 43	6 48	9 26	8 18	8 33	8 58
	Air	2 59	2 43	2 23	2 48	3 26	3 23	2 59	3 15
	Eau	2 31	2 14	2 23	2 30	2 40	2 37	2 42	2 36
Ciment de laitier	Eau	3 58	3 54	3 52	4 53	7 18	5 55	7 15	9
Chaux hydraulique	Eau	10 2	10	9 55	12 52	(14) ?	12 20	(14) ?	(14) ?

En somme, les deux procédés paraissent présenter à peu près le même degré de précision. D'ailleurs, dans la plupart de ces essais, nous avons constaté que les écarts provenaient de différences réelles dans l'allure du durcissement des quatre masses de pâte, qu'on avait pourtant essayé de rendre aussi identiques que possible.

Il serait donc peu rationnel, vu les variations afférentes à la nature même du ciment, de demander à l'essai qui nous occupe une trop grande exactitude, et, quand bien même la méthode consistant à déterminer le point B serait un peu plus précise que le procédé actuel, nous croyons que la différence n'est pas de nature à justifier la modification d'une pratique adoptée maintenant dans tous les pays.

Avec un peu d'habitude, l'opérateur arrive généralement à pressentir assez bien, d'après le degré de résistance offerte par la pâte à l'enfoncement de l'aiguille, l'époque où celle-ci va commencer à ne plus pénétrer jusqu'au fond; guidé par cet avertissement, il lui est facile de resserrer les intervalles des essais et, au moment où il croit constater le début de prise, de vérifier immédiatement, par de nouvelles piqûres, l'indication entrevue.

Enfin, tout arbitraire que doive forcément être la définition, il pourrait paraître illogique d'appeler début de prise un instant notablement postérieur à celui où la prise commence réellement à se manifester pour l'aiguille et la charge adoptées.

Aussi proposerons-nous de continuer à appeler début de prise l'instant où la masse de pâte sur laquelle on opère ne se laisse plus pénétrer totalement par l'aiguille employée aux essais.

III. — FIN DE PRISE.

La fin de prise est actuellement définie d'une manière à peu près générale l'instant où la surface de la pâte de ciment peut supporter l'aiguille, sans que celle-ci y pénètre d'une façon appréciable.

Si l'on se reporte à la courbe de la figure 1, on constate qu'à partir du moment où cette courbe est arrivée dans le voisinage de l'horizontale supérieure correspondant à la surface, il peut s'écouler encore un temps très long jusqu'à ce que l'aiguille, posée avec précaution, ne marque plus de trace apparente. Ainsi, dans l'exemple cité, l'aiguille n'a guère cessé de marquer sa trace que vers le point D, soit environ quatre heures après l'instant où elle enfonçait encore d'environ 1 millimètre (point C).

L'expérience montre qu'il est très difficile d'apprécier sûrement l'absence de trace de l'aiguille, et il n'est pas rare qu'il s'écoule une durée de plusieurs heures pendant laquelle des opérateurs, même exercés, hésitent à se prononcer[1]. *A fortiori* les écarts, quant à la détermination de l'époque de la fin de prise, répondant à la définition ci-dessus, doivent-ils être encore plus grands pour des observateurs différents qui, comme l'explique M. H. Le Chatelier dans sa note déjà citée, prennent pour base une convention arbitraire variable de l'un à l'autre, suivant qu'ils considèrent comme nul un enfoncement d'un millimètre ou de 1/100 de millimètre, par exemple.

En outre, on peut se demander si, pendant le temps correspondant à la branche CD de la courbe, les phénomènes de durcissement signalés par l'aiguille sont bien ceux qui se produisent au cœur de la masse de ciment et ne sont pas considérablement influencés par le voisinage du milieu ambiant, dans la mince couche où l'essai se trouve alors localisé.

Enfin, la présence de petits grains qui s'écrasent sous l'aiguille, le ramollissement possible de la surface du ciment par l'eau ressuée pendant la prise, et la formation d'une pellicule tendre de carbonate de chaux qu'on peut essuyer plus ou moins avec le doigt avant chaque essai ou même ne pas essuyer du tout, contribuent encore à troubler l'essai en masquant le durcissement réel du ciment par des phénomènes qui lui sont absolument étrangers[2].

Il y a donc lieu d'examiner, comme nous l'avons fait pour la détermination du début de prise, s'il ne serait pas avantageux de modifier la définition actuelle.

Un moment, nous avons songé à un mode d'essai employé jadis par Vicat pour déterminer la dureté des mortiers, et consistant à mesurer l'enfoncement d'une tige suffisamment résistante chargée d'nn poids connu et tombant brusquement d'une hauteur donnée. Après divers essais faits avec un appareil du même genre, mais de définition plus simple, nous n'avons pas cru devoir nous prononcer en faveur de cette méthode, trop différente de celle à laquelle on est accoutumé maintenant.

Nous avons alors cherché si l'on ne pourrait pas adopter pour la définition de la fin de prise l'instant où l'aiguille ordinaire pénètre encore à une profondeur donnée, suffisante pour qu'on n'ait plus à craindre l'influence de la surface libre, par exemple 5 millimètres, sous une charge définie, évidemment supérieure à la charge actuelle, et telle qu'il y eût à peu près concordance entre les deux définitions.

On ne pouvait évidemment espérer obtenir une concordance absolue, surtout lorsqu'il s'agirait plus tard d'étendre la méthode aux produits hydrauliques autres que les ciments portlands; mais, la définition étant nécessairement conventionnelle, il suffisait que la charge choisie fût telle qu'au moment où elle déterminerait un enfoncement de 5 millimètres, aucune pâte ne fût, soit encore trop molle pour pouvoir être considérée comme prise, soit déjà nettement durcie depuis longtemps.

Adoptant, après divers tâtonnements, le poids de 2.000 grammes, nous avons mesuré de combien il faisait pénétrer l'aiguille à divers instants de la prise d'un certain nombre de pâtes

---

[1] Si l'on considère la courbe de la figure 1 qui représente l'allure générale de la prise, on reconnaît qu'elle est tangente à la ligne inférieure correspondant au fond de la boite, tandis que la ligne supérieure correspondant à la surface serait plutôt une asymptote qu'une tangente.

[2] Les règles allemandes suppriment en partie ces influences en prescrivant de faire l'essai dans un moule annulaire sans fond posé sur une plaque de verre et qu'on retourne quand la prise est suffisamment avancée. On opère alors sur la face ayant durci au contact de la plaque de verre. Mais un pareil moule est bien rarement étanche et laisse échapper une fraction *variable* de l'eau rejetée par le ciment pendant la prise.

(voir la courbe pointillée de la figure 1) et constaté que, quelle que fût la nature du produit essayé, l'enfoncement de 5 millimètres avait toujours lieu dans une période du durcissement où l'on pouvait logiquement placer la fin de prise.

La régularité et l'inclinaison de la courbe pointillée de la figure 1 aux environs du point intéressant permettent de croire que la méthode serait assez précise. Pourtant, nous devons reconnaître que toutes les courbes obtenues ne présentent pas la même régularité et que souvent des piqûres répétées immédiatement en différents points d'une même masse de pâte donnent des enfoncements différents, ainsi qu'il ressort du tableau ci-dessous.

NATURE des PRODUITS.	MILIEU DE CONSERVATION des pâtes.	TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LE GÂCHAGE.	ENFONCEMENTS correspondant à des piqûres répétées immédiatement en 5 points différents de quatre boites contenant des pâtes provenant d'une même gâchée et conservées dans des conditions identiques (en millimètres).																			
			Boîte A.					Boîte B.					Boîte C.					Boîte D.				
		h. m.																				
Divers ciments portlands.	Eau.	3 37	11	13	14	14	12	5	5	3	5	7	4	3,5	4,5	4	3,5	2	4,5	3,5	4,5	5
	Eau.	8 25	5	5	4,5	5	6	8	6	4	6	6	6	7	3	1	5	5	2	5	4	4,5
	Air..	5 10	4,5	5	5	6	4,5	4	2	5	5	4	2	1	1	1	1,5	1,5	2	5	2	2
Ciment de laitier.	Eau.	27	11	9	5	2	5	1,5	2	3	4	3	2	2	2	3	2,5	6	6	2,5	8	2,5
Chaux hydrauliq^ue	Eau.	60	5	3,5	4	4	7	6	5	4	4	7	6	5,5	7	5,5	5,5	8	4,5	3	5,5	6

Il serait donc nécessaire, si l'on adoptait cette manière de procéder, de prendre la moyenne de plusieurs piqûres. Reste à savoir si les écarts entre les résultats trouvés par divers opérateurs seraient moindres qu'avec la définition actuelle.

C'est ce que nous avons recherché par des expériences directes, en chargeant quatre opérateurs de déterminer par chacune des deux méthodes en présence, ainsi que par celle du pouce, la fin de prise de pâtes provenant d'une même gâchée et conservées absolument de la même manière dans quatre boîtes semblables. Toutefois, il convient de noter qu'il a été bien difficile d'empêcher chaque expérimentateur de voir opérer ses voisins et d'adopter, même involontairement, une convention peu différente pour apprécier l'absence de trace du pouce ou de l'aiguille chargée de 300 grammes. En outre, nous avons vérifié que, dans la plupart des essais, les écarts constatés étaient dus, comme pour le début de prise, en partie à des différences réelles de l'allure du durcissement des quatre masses de pâte, pourtant confectionnées et placées dans des conditions aussi identiques que possible.

NATURE des PRODUITS.	MILIEU DE CONSERVATION des pâtes.	ÉPOQUE où le pouce ne produit plus de déformation apparente.				ÉPOQUE où l'aiguille de 1 mm² chargée de 300 grammes cesse de pénétrer d'une quantité appréciable.				ÉPOQUE où l'aiguille de 1 mm² chargée de 2.000 grammes pénètre de 5 millimètres.			
		Opérateur A.	Opérateur B.	Opérateur C.	Opérateur D.	Opérateur A.	Opérateur B.	Opérateur C.	Opérateur D.	Opérateur A.	Opérateur B.	Opérateur C.	Opérateur D.
		h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.
Divers ciments portlands.	Air..	2 25	2 25	2 37	2 21	2 38	2 53	2 17	2 43	2 12	2 12	< 2 17	< 2 14
	Air..	7 23	6 3	7 1	6 42	6 16	6 3	6 19	6 8	6 21	6 41	7 27	7 37
	Eau.	19 20	20 25	19 15	19 16	21 32	21 10	21 7	20 25	19 22	19 22	< 19 15	< 19 17
	Eau.	8 16	7 53	7 31	7 31	9 54	8 28	9 50	8 33	8 21	6 31	6 32	6 28
	Eau.	7 31	7 5	8 59	8 55	8 14	8 34	8 10	8 15	8 18	8 55	8 16	8 16
Chaux hydraulique.	Eau.	61	61	57	< 51^h	61	58	54	61	57	58	62	57

Il semble résulter de l'examen de ce tableau que la nouvelle définition étudiée, si elle est plus nette que la définition actuelle, ne donnerait pas, somme toute, dans la pratique, des résultats plus satisfaisants.

En résumé, le mode de procéder actuellement en usage pour déterminer la fin de prise est

incontestablement défectueux. Nous avons cru devoir insister sur ses inconvénients et chercher une meilleure solution. Nos études n'ont pas conduit à une méthode sûre pouvant être dès à présent recommandée; mais nous pensons que la question, dont l'importance est assez grande, doit rester ouverte. Provisoirement, nous proposons que, conformément à la décision du Comité, on continue à appeler fin de prise l'instant où la surface de la pâte de ciment commence à supporter l'aiguille chargée de 300 grammes, sans que celle-ci pénètre d'une quantité appréciable.

IV. — CONFECTION DE LA PÂTE.

TEMPÉRATURE.

Au moment du gâchage, le ciment, l'eau et l'air ambiant devront être à des températures comprises entre 15° et 18° centigrades. Ces dispositions ont été adoptées par le Comité d'études et nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de les discuter de nouveau.

POIDS DE CIMENT.

Il a été également admis qu'on devrait faire le gâchage sur un kilogramme de ciment, de manière à obtenir des opérateurs le même tour de main pour la confection des pâtes destinées à tous les essais.

NATURE DE L'EAU.

La nature de l'eau étant sans influence sur la manière d'exécuter les essais, nous n'avons pas à formuler de règles à cet égard. C'est ce que le Comité a décidé pour tous les essais à la fin de la séance du 3 juin (7e séance), en concluant qu'on se bornerait à indiquer la nature et la provenance de l'eau employée.

PROPORTION D'EAU.

La proportion d'eau à employer, pour l'essai normal de prise, devra être celle qui correspond à la consistance normale [1].

On a proposé de faire également des essais sur des pâtes beaucoup plus molles, pour en tirer des conclusions quant à la prise des mortiers sableux. Ces essais sont même en usage actuellement dans certains laboratoires allemands.

Des expériences faites sur un certain nombre d'échantillons de ciment en vue de rechercher quel supplément d'eau on pouvait adopter semblent indiquer que les essais dont il s'agit ne présentent pas un grand intérêt. En outre, l'emploi de coulis plus ou moins liquides peut donner lieu à des critiques touchant leur homogénéité. Aussi, croyons-nous qu'il sera préférable d'opérer directement sur certains mortiers sableux bien définis.

Dès lors, l'étude de cette question trouvera plutôt sa place dans le rapport que l'un de nous est chargé de préparer relativement aux essais de prise des mortiers.

GÂCHAGE DE LA PÂTE ET REMPLISSAGE DE LA BOÎTE.

Il est nécessaire que ces opérations soient exécutées comme pour la détermination de la consistance normale. Il n'y a donc pas lieu de donner de nouvelles indications à leur sujet.

V. — CONSERVATION DE LA PÂTE PENDANT LA PRISE.

Il a été admis que, pendant la durée de la prise, la température du milieu ambiant devrait être maintenue entre 15° et 18°, et il n'y a pas de raison de revenir sur cette décision.

[1] Pour la définition de cette consistance, voir notre rapport sur ce sujet du 30 juin 1892 (page 49).

En ce qui concerne la nature du milieu, la question a été posée de savoir s'il ne conviendrait pas d'opérer parallèlement sur la pâte laissée à l'air et sur la pâte immergée aussitôt après le gâchage et, dans ce cas, quels seraient les dispositifs à adopter pour chaque expérience.

Ce double essai n'étant justifié qu'à la condition que les résultats fournis fussent nettement différents, il importait de comparer d'abord les allures de prises opérées à l'air et sous l'eau.

Le tableau ci-dessous montre que, dans certains cas, la prise n'a pas été sensiblement modifiée par l'immersion de la pâte, tandis que dans d'autres, surtout à l'eau de mer, elle a été ralentie.

PÂTES GÂCHÉES à consistance normale.	GÂCHAGE ET IMMERSION à l'eau douce.								GÂCHAGE ET IMMERSION à l'eau de mer.							
	DÉBUT DE PRISE.				RACCORDEMENT de la courbe avec l'horizontale supérieure [1].				DÉBUT DE PRISE.				RACCORDEMENT de la courbe avec l'horizontale supérieure [1].			
NATURE des produits.	Pâte laissée à l'air.	Pâte immergée.	Ralentissement absolu.	Ralentissement relatif.	Pâte laissée à l'air.	Pâte immergée.	Ralentissement absolu.	Ralentissement relatif.	Pâte laissée à l'air.	Pâte immergée.	Ralentissement absolu.	Ralentissement relatif.	Pâte laissée à l'air.	Pâte immergée.	Ralentissement absolu.	Ralentissement relatif.
	t	t'	$t'-t$	$\frac{t'-t}{t}$	t	t'	$t'-t$	$\frac{t'-t}{t}$	t	t'	$t'-t$	$\frac{t'-t}{t}$	t	t'	$t'-t$	$\frac{t'-t}{t}$
	h. m.	h. m.	h. m.		h. m.	h. m.	h. m.		h. m.	h. m.	h. m.		h. m.	h. m.	h. m.	
Ciment portland	14	16	2	0,14	20	22	2	0,10	41	1 13	32	0,78	43	2	1 17	1,80
Ciment portland	19	20	1	0,05	30	40	10	0,33	1 36	1 50	14	0,15	6 30	9	2 30	0,38
Ciment portland	25	30	5	0,20	53	1 10	17	0,32	3 10	4 30	1 20	0,42	8	9	1	0,13
Ciment portland	1 33	1 33	0	0	2	2	0	0	2 25	3 30	5	0,03	4	7 30	3 30	0,87
Ciment portland	3	4 30	1 30	0,50	6 20	9 30	3 10	0,50	4 15	5 45	1 30	0,35	7 30	9 30	2	0,27
Ciment portland	7 30	7 30	0	0	12 30	14	1 30	0,12	6 30	6 45	15	0,04	10	11	1	0,10
Ciment additionné de gypse	3 30	4 30	1	0,29	7 45	10	2 15	0,28	2 45	3 45	1	0,36	6	7 15	1 15	0,21
Ciment additionné de plâtre	4 30	6	1 30	0,33	9 30	11 30	2	0,21	3	5 30	2 30	0,83	8	9	1	0,13
Ciment à prise rapide	9	9	0	0	14	16	2	0,14	13	16	3	0,23	19	50	31	1,64
Ciment de grappiers	2 30	3 40	1 10	0,47	7 20	10	2 40	0,36	3 57	4	3	0,01	6 40	7	20	0,05
Ciment de grappiers	5 40	5 40	0	0	12 30	13	30	0,04	5 58	5 58	0	0	8	9	1	0,13
Ciment de laitier	4 45	4 45	0	0	10 30	12	1 30	0,14	7 15	9 15	2	0,28	11	12 30	1 30	0,14
Chaux hydraulique	7 30	8 45	1 15	0,17	16 30	17	30	0,03	6 30	8 30	2	0,31	19	20	1	0,05

[1] Au moment où la plupart de ces essais ont été exécutés, nous n'étions pas encore fixés au sujet de la définition à adopter pour la fin de prise. On trouvera dans le tableau de la page 121 quelques exemples pour lesquels la fin de prise a été déterminée.

Toutefois, comme on aurait pu se demander si les écarts constatés n'étaient pas dus à quelque légère différence de température entre l'air et l'eau d'immersion, nous avons fait plusieurs nouvelles expériences en mettant la pâte, destinée à être conservée à l'air, à l'intérieur d'une petite caisse métallique fermée, plongeant dans le même bain que la pâte immergée. Grâce à ce dispositif, les températures des deux milieux n'ont jamais différé entre elles de plus d'un quart de degré; elles n'ont d'ailleurs pas varié de plus d'un degré pendant toute la durée de la prise. Nous avons vérifié ainsi que souvent les deux prises présentaient des allures nettement différentes.

Il peut donc y avoir intérêt à faire l'essai suivant l'une ou l'autre des deux méthodes.

On s'est demandé si l'immersion immédiate n'aurait pas pour effet de délaver la surface de la pâte, ou d'y produire des efflorescences capables de gêner l'observation de la prise. Nous avons constaté que le délavage était nul, même pour les pâtes gâchées à consistance molle. Quant aux efflorescences, insignifiantes dans l'eau douce, elles peuvent, dans l'eau de mer, se produire abondamment, surtout si la prise est lente. Elles affectent alors la forme d'une lai-

tance blanche, qu'il est facile de laver en partie, en agitant de temps en temps la boîte dans l'eau, mais qui durcirait à la longue, si l'on ne prenait cette précaution.

Lors de la discussion au Comité d'études, on a signalé l'inconvénient qu'il pourrait y avoir à sortir la boîte de l'eau pour faire chaque essai. L'expérience nous a montré que cet inconvénient était sans importance. Si la prise se produit lentement, les piqûres successives sont suffisamment espacées pour qu'une émersion de quelques secondes soit sans influence sur le durcissement. Si, au contraire, elle est rapide, sa durée est très sensiblement la même dans l'air et dans l'eau, de sorte qu'on n'a pas à craindre qu'elle se trouve modifiée.

Le principal avantage de la méthode qui consiste à immerger la pâte est la facilité d'amener au degré voulu la température du bain, et de l'y maintenir à peu près constante pendant aussi longtemps qu'on le désire. De même, si la couche d'eau dépassant la partie supérieure de la boîte est assez épaisse (au moins 1 à 2 cent.) pour que l'échange se fasse librement avec les autres parties du bain, on sera sûr, à condition d'enlever, le cas échéant, la laitance comme il vient d'être dit, que la surface libre du ciment aura avec le milieu ambiant un contact toujours identique à lui-même.

Il n'en est pas ainsi dans les essais à l'air.

D'abord, il est très difficile, à moins d'aménagements tout spéciaux, d'assurer la constance de la température. A ce point de vue, on pourrait conseiller pour ces essais le dispositif indiqué plus haut.

D'autre part, beaucoup de pâtes, abandonnées à elles-mêmes, rejettent pendant la prise une partie de leur eau de gâchage, en même temps que leur surface peut s'abaisser plus ou moins, par suite du départ de cette eau. Il en résulte que celle-ci peut, ou s'échapper complètement par-dessus les bords de la boîte, ou séjourner en partie à la surface du ciment, puis être plus ou moins résorbée ou s'évaporer, en laissant une pellicule de carbonate de chaux. De là des écarts possibles dans l'allure de la prise.

Les expériences relatées par le tableau ci-dessous montrent que, dans certains cas, il n'est pas indifférent, surtout en ce qui concerne la fin de prise, de retenir ou de laisser échapper l'eau rejetée par le ciment. Il est donc nécessaire de régulariser l'influence de cette eau en fixant un mode d'opérer tel que la surface libre du ciment se trouve toujours dans des conditions identiques.

NATURE des PRODUITS.	EAU DE GÂCHAGE. (CONSISTANCE NORMALE.)	DÉBUT DE PRISE.			FIN DE PRISE (300 g. Trace nulle).		
		PÂTE LAISSÉE à l'air.		PÂTE immergée.	PÂTE LAISSÉE à l'air.		PÂTE immergée.
		Eau vidée à mesure.	Eau laissée.		Eau vidée à mesure.	Eau laissée.	
		h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.	h. m.
Ciment portland	22 p. 100 eau douce	1 30	1 30	1 45	6 30	9	9
	22 p. 100 eau de de mer	4 15	4 30	6 15	10 30	13	> 13h
Ciment portland	28 p. 100 eau douce	55	1 10	1 10	4 50	6 30	6 30
	28 p. 100 eau de mer	4	7 30	7 30	10 15	> 13h	> 13h
Ciment de laitier	36 p. 100 eau douce	4 45	(1)4 45	4 45	24	24 (1)	26
	36 p. 100 eau de mer	7 15	(1)8 15	9 15	19 30	(1)19 30	21
Chaux hydraulique	43 p. 100 eau douce	7 30	8 15	8 45	26	31	?
	43 p. 100 eau de mer	6 30	7 45	8 30	31	35	57

(1) Cette pâte a rejeté très peu d'eau pendant sa prise.

Un premier procédé, intermédiaire entre l'essai à l'air et l'essai sous l'eau, consiste à ne pas remplir complètement la boîte avec la pâte à essayer, et à verser au-dessus une légère couche

d'eau qu'on y laisse pendant la durée de la prise, et à travers laquelle on fait les piqûres. Mais, outre qu'on n'est jamais sûr ainsi d'opérer toujours sur une même épaisseur de pâte, l'eau surnageante se charge rapidement de chaux qui se carbonate et la trouble en masquant la surface du ciment, de sorte qu'on risque de faire des piqûres dans d'anciens trous ou dans leur voisinage trop immédiat. Pour la même raison, il devient difficile d'observer la fin de la prise.

Des expériences comparatives, répétées sur divers échantillons de ciment, nous ont montré que, si le début de prise ainsi constaté était presque toujours le même que lorsque la pâte plongeait complètement dans l'eau, la courbe de prise de la pâte simplement recouverte d'une couche d'eau, avait généralement une allure beaucoup plus lente que celle de la pâte immergée, et souvent fort irrégulière.

La couche d'eau ajoutée, loin de mettre la pâte dans les mêmes conditions que si elle était immergée, ne fait donc que troubler l'essai.

Si l'on veut se contenter de laisser, à la surface du ciment, l'eau qu'il rejette pendant la prise, il est encore nécessaire, afin que cette eau ne puisse s'échapper, d'opérer dans une boîte non remplie, et par conséquent, difficile à déraser. En outre, on peut craindre, bien qu'à un moindre degré, les mêmes inconvénients que dans le cas précédent.

Un autre procédé consisterait à renouveler de temps en temps l'eau surnageante, ajoutée ou non, de manière à l'empêcher de se troubler. Mais c'est là une opération assez compliquée, et d'ailleurs, il ne faut pas oublier qu'il s'agit actuellement de déterminer la prise du ciment à l'air et non sous une couche d'eau plus ou moins épaisse.

On a proposé, en vue de soustraire la surface libre du ciment à la carbonatation, de remplir complètement la boîte et, après avoir dérasé la pâte, de la recouvrir d'une lame de verre appliquée exactement sur la surface. Mais cette lame n'empêche pas le ciment de rejeter son eau, qui forme des cloches irrégulières au-dessous du verre, ou s'écoule par capillarité entre le verre et les bords du moule, surtout si celui-ci n'est pas parfaitement propre à l'extérieur. Enfin, il est nécessaire d'enlever le verre pour chaque piqûre, ce qui, souvent, fait aussi échapper l'eau et risque de froisser plus ou moins la surface de la pâte en modifiant peut-être la fin de prise. D'ailleurs, nous avons constaté par diverses expériences que l'allure de la courbe ainsi obtenue est très sensiblement la même que lorsqu'on laisse libre la surface du ciment, en vidant l'eau à mesure qu'elle se produit. L'usage de la lame de verre joint donc aux inconvénients qui viennent d'être signalés celui d'une complication inutile.

A côté de ce mode d'opérer, il convient de citer celui que préconise M. Bonnami dans son ouvrage sur la fabrication et le contrôle des chaux hydrauliques et des ciments.

Remarquant que « la marche du durcissement de la surface d'une gangue, qui se trouve en contact direct avec l'eau, ne peut donner aucune idée exacte de la marche de la cohésion à l'intérieur », l'auteur propose d'introduire la pâte dans un vase sans le remplir, puis de verser de l'eau par-dessus, et de placer à sa surface, quelques instants après, des disques de fonte surmontés d'une tige.

« Ces pistons laissent leur empreinte sur la pâte et chassent l'eau.

Au fur et à mesure du durcissement, on peut, si cela est nécessaire, augmenter leur poids à l'aide de rondelles additionnelles pour assurer le départ complet de l'eau : la surface des disques qui se trouve en contact avec la pâte doit être évidemment parfaitement dressée.

Pour faire un essai, on enlève un disque et l'on pose l'aiguille sur l'empreinte; après l'essai, on remet le disque à sa place. »

Ce procédé a l'inconvénient d'exiger qu'on opère sur une masse de pâte considérable; en outre, on peut douter que l'eau se trouve toujours parfaitement chassée par les disques, et il y a tout lieu de craindre que la pression plus ou moins forte exercée sur la surface de la pâte ne modifie la fin de prise.

Aucune de ces méthodes, toutes plus ou moins défectueuses pour un essai *dans l'air*, ne paraissant convenir, il ne reste plus qu'à prendre le parti de vider, à mesure qu'elle se sépare, l'eau rejetée par le ciment pendant la prise.

Nous avons essayé de différents dispositifs destinés à obtenir l'écoulement automatique de cette eau, soit en déposant la boîte pleine sur un plan légèrement incliné d'où on ne l'enlèverait que pour faire les piqûres, soit en employant une boîte dont le bord supérieur présentait des échancrures, soit en recouvrant la pâte d'une feuille de papier buvard renouvelée de temps en temps ou d'un linge mouillé dont les coins retombaient dans une assiette contenant de l'eau, de manière à siphonner continuellement, par capillarité, l'eau qui se séparait de la pâte. Mais aucun de ces moyens n'a donné de résultats satisfaisants.

Le mieux sera donc de vider l'eau, par une simple inclinaison de la boîte, chaque fois qu'on le jugera nécessaire; après quoi on replacera celle-ci sur la table horizontale jusqu'à ce que de nouvelle eau soit remontée à la surface.

En résumé, les essais de pâtes immergées paraissent plus faciles et plus sûrs que ceux à l'air et nous croyons qu'il y a lieu de les proposer comme essais normaux, sauf à les compléter, quand on le jugera utile, par des essais à l'air exécutés dans les conditions qui viennent d'être définies.

VI. — DISPOSITIONS À ADOPTER POUR LES ESSAIS.

BOÎTE.

On met souvent la pâte destinée aux essais de prise dans des moules annulaires formés de deux demi-cylindres serrés par une bague et placés sur une plaque de verre. Cet appareil est rarement étanche, et laisse échapper plus ou moins facilement une partie de l'eau rejetée par le ciment. A ce titre, il constituerait peut-être une solution de la question qui vient d'être discutée en ce qui concerne les essais à l'air, si l'on était sûr de pouvoir le disposer de manière qu'il laisse toujours passer l'eau également. En tout cas, il conviendrait mal aux essais de pâtes immergées, et nous croyons qu'il y a lieu de lui substituer, ainsi que le Comité d'études l'a d'ailleurs admis, une véritable boîte étanche munie d'un fond.

Ce fond devra être bien plan, de manière qu'en quelque point qu'on amène l'aiguille à son contact, l'index s'arrête toujours à la même division. Cette condition s'applique à la détermination du début de prise, pour lequel on doit, ainsi que nous l'avons montré plus haut, compter les distances de l'extrémité de l'aiguille au fond de la boîte et non à la surface de la pâte.

En ce qui concerne le degré de conductibilité à exiger des parois, on remarquera que, même en admettant que la pâte soit, comme il est recommandé, exposée dans un milieu, eau ou air, à température rigoureusement constante, sa température ne restera pas nécessairement la même pendant toute la durée de l'essai; car la prise, comme toute transformation chimique, est accompagnée de phénomènes thermiques parfois très appréciables. Dès lors, si les parois de la boîte sont bonnes conductrices, elles transmettront au milieu ambiant une partie de la chaleur dégagée par les parties du ciment qui leur sont contiguës, alors que le centre de la masse conservera une température supérieure, de sorte que la prise pourra ne pas suivre tout à fait la même marche dans les diverses régions de la boîte.

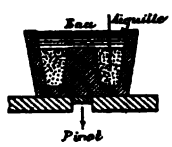
On serait donc tenté d'employer une matière mauvaise conductrice [1].

Toutefois, si l'on considère qu'avec les ciments lents, le dégagement de chaleur produit par la quantité de pâte sur laquelle on opère est généralement très faible, l'inconvénient qui vient d'être signalé disparaît en partie. Nous l'avons constaté par l'expérience, en déterminant les courbes de prise correspondant au centre et aux parties périphériques de diverses pâtes conservées dans des boîtes cylindriques en zinc, courbes qui n'ont pas présenté de différences d'ordre supérieur à celles que l'on obtient quand on limite les piqûres à la région centrale de la boîte.

Les seuls ciments qui produisent un dégagement de chaleur assez considérable ont une prise rapide, qui doit n'être que fort peu influencée par le refroidissement des parois.

D'ailleurs, cette influence disparaît complètement si l'on se borne, comme nous l'avons admis, à déterminer le début et la fin de la prise. En effet, au moment du début de prise, le dégagement de chaleur ne fait que commencer à se produire, de sorte que toutes les parties de la pâte doivent se trouver dans les mêmes conditions. Quant à la fin de prise, on n'opère pour la déterminer que sur la surface libre du ciment qui, directement au contact avec le milieu ambiant, doit éprouver un égal refroidissement dans toutes ses parties.

Fig. 5.



[1] M. H. Le Chatelier propose, dans sa note déjà citée, d'employer une boîte métallique dont la cavité présente une forme annulaire (fig. 5), de manière à faire toutes les piqûres sensiblement à la même distance des parois.

Il n'y a donc, pour les essais qui nous occupent, aucun intérêt sérieux à employer une boîte mauvaise conductrice, et on pourra la confectionner en métal.

Cette faculté est surtout précieuse en raison de la solidité que doit présenter la boîte, pour se prêter sans risques de détérioration au démoulage du ciment pris. A ce point de vue, il sera bon de donner à la boîte une forme légèrement évasée. La forme ronde sera la meilleure, tant en raison de sa symétrie que de sa plus grande résistance et du moindre développement de ses parois. Les dimensions de la boîte destinée à la détermination de la consistance normale [1] paraissent devoir convenir parfaitement.

En résumé, nous proposons l'emploi d'une boîte métallique, tronconique, étanche, à fond bien plan, mesurant 0 m. 08 de diamètre au fond et 0 m. 09 à l'ouverture, avec une profondeur de 0 m. 040.

On pourra se servir indifféremment, soit de bronze tourné, soit de zinc soudé suffisamment épais, soit de tout autre métal présentant des garanties suffisantes de solidité et d'inaltérabilité.

AIGUILLE.

Le Comité d'études a admis, après discussion, que la forme ronde devrait être adoptée de préférence à la forme carrée, et nous ne croyons pas qu'il y ait lieu de revenir sur cette décision. En effet, si la seconde forme présente cet avantage que les dimensions linéaire et superficielle de la section de l'aiguille peuvent être représentées toutes deux par des nombres entiers (par exemple 1 millimètre et 1 millimètre carré, comme dans le cahier des charges de Boulogne), l'aiguille ronde est plus facile à fabriquer et offre moins de chances de déformation.

En ce qui concerne le diamètre de l'aiguille, le Comité a adopté celui de 1 mm. 20 (surface de la section : 1 mm² 13), comme correspondant à la définition même de Vicat, en même temps qu'à un type d'aiguilles (aiguilles à tricoter) qu'on trouverait couramment dans le commerce.

Vérification faite, nous avons constaté que les aiguilles à tricoter (dont le calibre a été sans doute établi d'après d'anciennes unités de mesure) sont loin de présenter la régularité qu'on leur a attribuée : non seulement il est rare d'en trouver dans un même lot deux qui aient le même diamètre, mais le diamètre d'une même aiguille n'est même pas toujours constant sur toute sa longueur.

Au contraire, on vend chez les quincailliers des « pieds d'acier », tiges de 0 m. 35 de longueur, parfaitement cylindriques et susceptibles d'acquérir une trempe dure. Ces tiges, qui servent à la fabrication des outils, ont des diamètres échelonnés par numéros se suivant de très près et, en faisant un choix parmi toutes celles d'un même numéro, qui ne sont pas rigoureusement de même grosseur, on en trouve sans peine dont le diamètre ne diffère pas de plus d'un centième de millimètre de celui que l'on désire.

Nous croyons donc que l'argument basé sur la facilité de se procurer dans le commerce une aiguille ronde ayant une section de 1 mm² 13 est sans valeur.

Quant à l'intérêt historique qui s'attache à rétablir l'usage de cette aiguille abandonnée depuis longtemps, il n'est aucunement en cause, attendu qu'on continue à donner partout, même à l'étranger, le nom de Vicat aux diverses aiguilles employées aux essais de prise, bien qu'aucune ne présente les dimensions fixées par l'illustre ingénieur.

Enfin, il pourrait sembler bizarre, alors que la plupart des laboratoires étrangers ont choisi l'aiguille de 1 millimètre carré de section, que la France, qui a eu l'honneur de créer le système métrique et de le faire adopter par la plupart des autres nations, vînt maintenant, sans raison péremptoire, recommander officiellement pour certains essais un instrument dont les dimensions paraissent basées sur d'anciennes unités de mesure.

Nous proposerons donc, tout en conservant à l'aiguille le nom de Vicat, de lui donner un diamètre ou une section correspondant à un nombre entier d'unités du système métrique.

Le tableau ci-dessous indique la correspondance d'un certain nombre de diamètres et de sections.

Diamètre (en millimètres)	1,00	1,13	1,20	1,60	2,00
Section (en millimètres carrés)	0,78	1,00	1,13	2,00	3,14

[1] Voir notre rapport relatif à la consistance normale, page 49.

L'aiguille d'un millimètre de diamètre serait trop faible et facilement déformable. Nous pensons qu'on pourrait, pour ne pas s'écarter des errements actuels, choisir l'aiguille d'un millimètre carré de section, aiguille déjà assez solide, qui, à la simplicité de sa définition, joint l'avantage d'être aujourd'hui employée presque partout.

L'aiguille adoptée devra d'ailleurs être parfaitement cylindrique, lisse et terminée par une section nette et d'équerre. Avant chaque piqûre, on s'assurera qu'elle est propre et sèche.

Son poids total continuera à être de 300 grammes.

PIQÛRES.

On peut, soit descendre l'aiguille avec lenteur en la retenant constamment de manière à l'empêcher d'acquérir aucune force vive, soit encore la poser à la surface de la pâte, puis l'abandonner à elle-même jusqu'à ce qu'elle s'arrête.

Le premier procédé est le plus généralement usité et nous croyons qu'il y a lieu de le conserver. Il est d'ailleurs conforme à celui que nous avons été amenés à proposer pour la détermination de la consistance normale, après avoir reconnu que, pour ce genre d'essais, il donnait des indications plus exactes que celui de la descente libre.

Il est nécessaire de ne pas faire les piqûres trop rapprochées.

APPAREIL À EMPLOYER.

De même que pour la détermination de la consistance normale, nous ne croyons pas qu'il y ait lieu d'imposer telle ou telle forme d'appareil. On devra seulement exiger que le dispositif employé permette de faire descendre régulièrement l'aiguille en la maintenant toujours verticale et de lire facilement les enfoncements.

VII. — CONCLUSIONS PROPOSÉES.

En résumé, nous avons l'honneur de proposer au Comité d'études l'adoption des conclusions suivantes :

Les essais de prise des pâtes de ciment pur comporteront la détermination du *début* et de la *fin de prise*.

Au moment du gâchage, les températures du ciment, de l'eau et de l'air devront être comprises entre 15 et 18 degrés centigrades.

La pâte sera gâchée à consistance normale, puis, avec les précautions indiquées précédemment pour la détermination de cette consistance, introduite et dérasée dans une boîte métallique étanche, à fond plat, de forme tronconique, ayant 0 m. 08 de diamètre à la base inférieure, 0 m. 09 à la base supérieure et 0 m. 04 de profondeur.

Aussitôt remplie de pâte, la boîte sera immergée dans un bac contenant de l'eau dont la température sera maintenue pendant toute la durée de la prise entre 15 et 18 degrés. La boîte ne sera extraite du bac que le temps nécessaire pour chaque essai.

On emploiera pour les essais une aiguille en métal dite *aiguille Vicat*, cylindrique, lisse, propre, sèche, terminée par une section nette et d'équerre dont la surface mesurera un millimètre carré (diamètre 1 mm. 13) et pesant 300 grammes.

On appellera *début de prise* l'instant où cette aiguille, descendue dans la pâte de ciment verticalement, avec précaution et sans qu'on lui laisse acquérir de vitesse, ne pourra plus pénétrer jusqu'au fond de la boîte.

On appellera *fin de prise* l'instant à partir duquel la surface de la pâte de ciment pourra supporter la même aiguille sans que celle-ci y pénètre d'une quantité appréciable [1].

[1] Ainsi que nous l'avons indiqué page 119, cette définition ne peut être admise qu'à titre provisoire et des études seraient utiles pour en trouver une autre qui tienne compte de l'état de la masse de la pâte et non de la surface, et aussi qui comporte une constatation précise, au lieu d'une appréciation des plus délicates.

Les durées correspondantes seront comptées à partir de l'instant où l'eau de gâchage aura été mise au contact du ciment.

Dans le cas où l'on voudra déterminer la prise dans l'air, on opérera comme il vient d'être indiqué, à cette différence près que la boîte, aussitôt remplie, sera maintenue dans l'air à une température comprise entre 15 et 18 degrés; on aura soin de vider, au fur et à mesure, l'eau qui pourra remonter à la surface de la pâte et s'en séparer.

Paris, le 2 novembre 1892.

P. ALEXANDRE, R. FERET.

NOTE I.

Essais faits avec des aiguilles de sections différentes chargées de poids variables.

(Extrait d'un rapport de M. Feret.)

On a employé quatre aiguilles à sections carrées dont les côtés mesuraient environ 1, 2, 3 et 4 millimètres (sections exactes : 1,0, 4,2, 8,1, 17,2 mm²), chargées successivement de poids différents (50, 100, 200, 300, 500, 1.000 et 2.000 g.) dont on a déterminé, après des durées variables, les enfoncements dans une même pâte de ciment pur formant une couche de 35 millimètres d'épaisseur.

En traçant pour chaque aiguille et chaque charge une courbe ayant pour abscisses les temps écoulés depuis le gâchage et pour ordonnées les épaisseurs de pâte non traversées (voir fig. 6, page 128, une de ces courbes), on connaît à chaque instant l'enfoncement de chaque aiguille sous chacune des charges étudiées.

Dès lors, on peut tracer pour chaque aiguille un tableau graphique à double entrée représentant par des lignes de niveau les enfoncements correspondant à une charge et une époque quelconques. Les figures 7 et 8 reproduisent les tableaux relatifs à la plus grosse et à la plus fine des quatre aiguilles.

On reconnaîtrait sans peine qu'aucune des courbes ne doit couper l'axe des temps, mais que certaines peuvent couper l'axe des poids. En particulier, on n'a pu, avec la grosse aiguille chargée de poids variant de 50 à 2.000 grammes, obtenir dès le commencement de l'expérience un enfoncement égal à l'épaisseur totale de la masse de pâte essayée, c'est-à-dire à 35 millimètres. La ligne 35 ne peut donc couper l'axe des poids qu'en un point dont l'ordonnée corresponde à plus de 2.000 grammes.

Les lignes d'égal enfoncement peuvent être considérées comme les courbes de niveau d'une surface gauche raccordant deux paliers horizontaux distants entre eux de l'épaisseur de la couche de pâte. La première et la dernière sont particulièrement intéressantes en ce qu'elles correspondent au début et à la fin de la prise apparente pour chaque valeur de la charge imposée à chaque aiguille.

La figure 9 a été obtenue en partant des quatre lignes de début de prise. Elle permet de trouver immédiatement l'instant où une aiguille carrée dont on se donne à volonté la section et la charge aurait commencé à ne plus traverser entièrement la rondelle de ciment.

En considérant que, d'une part, une aiguille de poids 0 et dont la section ne serait pas nulle ne pourrait à aucun instant pénétrer dans le ciment, et que, d'autre part, une aiguille de section nulle chargée d'un poids quelconque différent de 0 ne pourrait être retenue dans sa descente que si la résistance du ciment était infinie, et, par suite, devrait toujours traverser complètement la rondelle, on conclut sans peine que toutes les lignes d'égal début de prise doivent passer rigoureusement par l'origine des coordonnées.

De même, la figure 10 indique après quelle durée, comptée à partir de l'instant du gâchage, une aiguille de section et de poids donnés aurait cessé d'enfoncer d'une quantité appréciable dans le ciment étudié. On verrait, comme dans le cas de la figure 9, que toutes les lignes passent par l'origine.

La forme courbe des lignes d'égal début de prise et de celles d'égale fin de prise des figures 9 et 10 montre que les efforts qu'il aurait fallu exercer à un même instant sur des aiguilles de sections différentes pour obtenir des enfoncements identiques *ne sont pas proportionnels* à ces sections. D'ailleurs on conçoit bien *a priori* que, par exemple, le frottement de la pâte contre les parois de la tige de métal doive ajouter son influence à celle de la résistance qu'elle offre à la tranche de l'aiguille. De même, il est hors de doute que, pour une même consistance de la pâte, la compression de la colonne de ciment non traversée qui supporte l'aiguille à un moment donné doit se produire de manières très différentes par suite de ce fait que le ciment qui compose cette colonne peut éprouver plus ou moins de difficulté à s'échapper latéralement sous la pression de l'aiguille suivant la forme et les dimensions qu'on donne à la section de cette dernière.

On peut se rendre compte au moyen d'un dessin de la loi qui lie entre elles les sections et les charges correspondant à un même enfoncement à un instant donné de la prise. La figure 11, déduite des précédentes, correspond à l'état de la pâte deux heures après le gâchage. Elle montre que, lorsqu'on diminue la section de l'aiguille, le poids dont il convient de la charger pour obtenir un même enfoncement est plus faible que celui qui correspondrait à la même charge par unité de surface de la section pour une aiguille plus grosse. C'est bien là le résultat qu'on devait prévoir comme conséquence des considérations qui précèdent.

Les diverses constructions graphiques qui viennent d'être exécutées ont eu pour effet de déduire

Fig. 6.

Aiguille de 17,2 mm².
Charge = 2.000 g.

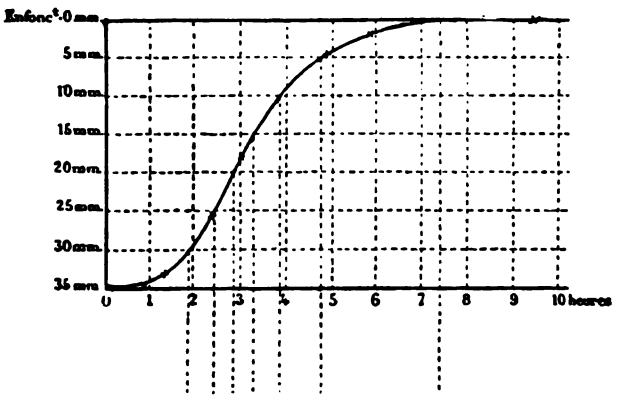


Fig. 7. Aiguille de 17,2 mm².

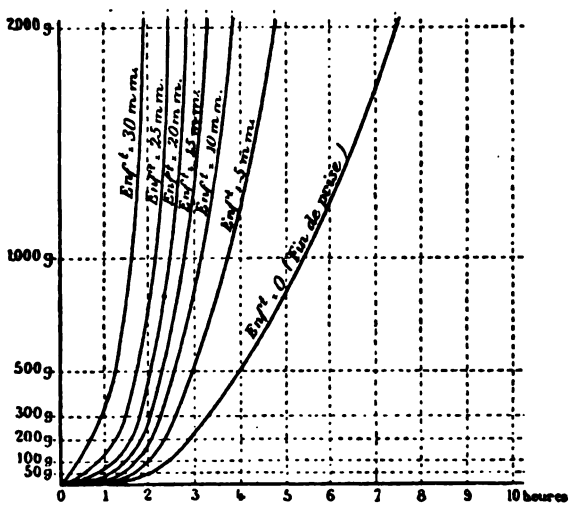


Fig. 8. Aiguille de 1,0 mm².

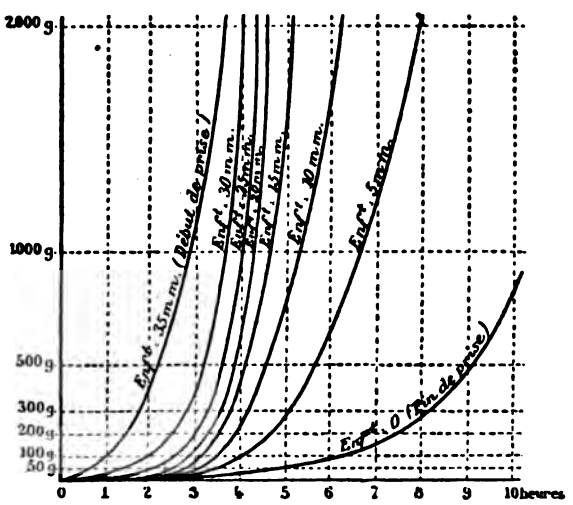


Fig. 9. Débuts de prise.

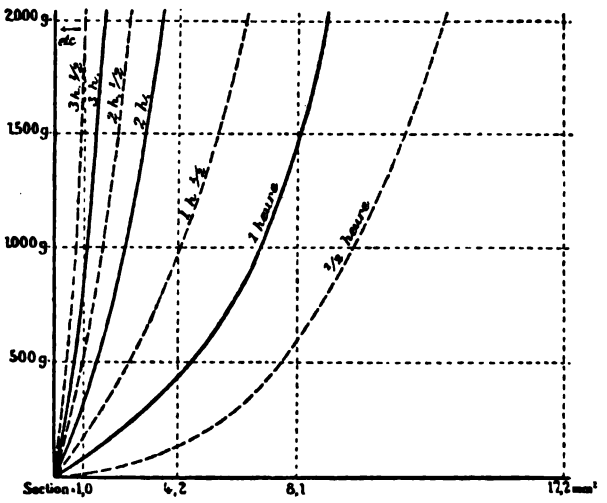


Fig. 10. Fins de prise.

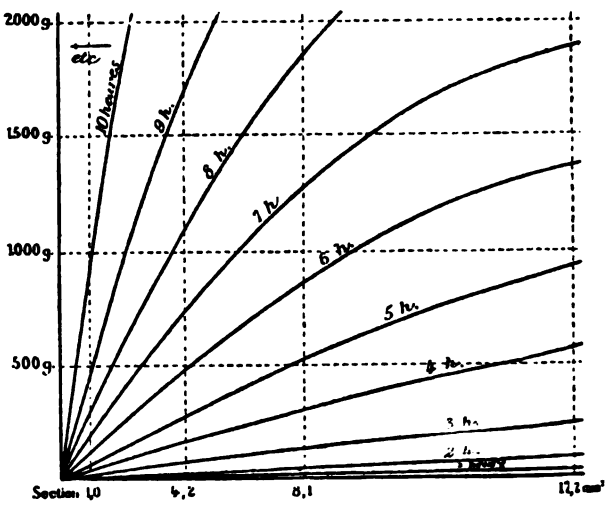
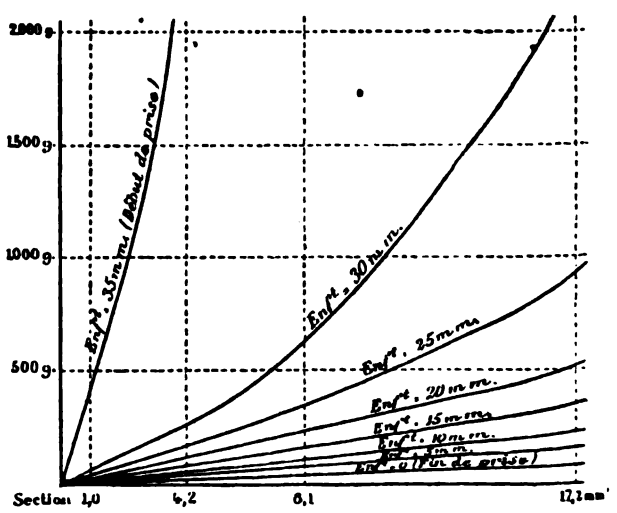


Fig. 11. État de la pâte après 2 heures.



d'une série d'essais faits *successivement* sur une pâte de consistance continuellement variable un ensemble de données se rapportant à l'état de cette pâte *à un instant déterminé*, d'ailleurs quelconque, de son durcissement.

Dès lors, on conçoit que, si l'on parvient à définir par un ou plusieurs paramètres l'état statique correspondant à chaque instant de la prise, la suite des valeurs de ces paramètres pourra servir à caractériser d'une manière absolue l'allure de la prise indépendamment de toute considération relative à la forme ou à la charge de l'aiguille.

Malheureusement, on ne possède encore aucun moyen d'y arriver; en particulier, on vient de voir que l'expérience citée ne permettait pas de définir l'état de la pâte par sa résistance à la pénétration par unité de surface, attendu que cette résistance varie suivant la section de l'aiguille employée.

Toutefois, les figures 7 et 8 montrent suffisamment que la dureté de la pâte a augmenté d'une manière continue et rapidement progressive depuis l'instant même du gâchage, pendant un temps qu'on peut considérer comme indéfini, étant donné la forme à peu près parabolique des courbes, et la possibilité au moins virtuelle d'imposer à l'aiguille des charges de plus en plus fortes.

Outre que le mode d'investigation qui vient d'être exposé ne peut être employé commodément que lorsque la prise est suffisamment lente, il serait beaucoup trop compliqué pour des essais pratiques de réception. Par contre, on conçoit qu'appliqué à des recherches de laboratoire, il puisse fournir sur le phénomène mécanique de la prise des renseignements assez précis pour permettre de substituer aux épreuves actuelles, toujours délicates et incommodes, où l'inconnue est une époque qu'il s'agit de déterminer par une série quelquefois assez longue de tâtonnements successifs, des essais plus faciles consistant simplement à mesurer, par exemple, les enfoncements produits par des charges données, à certaines époques déterminées.

NOTE II.

Détermination des efforts d'enfoncement d'une même aiguille.

(Extrait d'une note de M. H. Le Chatelier.)

Les procédés employés aujourd'hui pour reconnaître le commencement et la fin de prise sont, de tous ceux que l'on peut imaginer, certainement les plus mauvais. Ils ne présentent aucune précision expérimentale et exigent une main-d'œuvre opératoire considérable, en raison du grand nombre d'essais nécessaires.

J'ai employé pour mes expériences une aiguille de 1 mm. 2 de diamètre, portant latéralement un index gradué pour mesurer l'enfoncement. Le vase plein de ciment (épaisseur de la couche = 50 mm.) était placé sur un pèse-lettres américain permettant de mesurer les efforts à 3 grammes près jusqu'à 500 grammes. (Il serait plus simple de monter l'aiguille sur un ressort gradué et de placer le ciment sur un appui fixe.)

COMMENCEMENT DE PRISE.

Il est impossible de déterminer, comme on prétend le faire, le moment où l'aiguille traverse toute la masse de ciment. A partir du dernier centimètre, les efforts nécessaires pour l'enfoncement croissent très vite et rien n'avertit du moment précis où l'on touche le fond. On peut au contraire mesurer avec une très grande précision le moment où l'aiguille a pénétré à mi-profondeur de 20 millimètres par exemple. Voici quelques résultats d'expériences :

CIMENT.	PROPORTION d'eau employée pour le gâchage.	DURÉE du gâchage.	EXPOSITION de la pâte pendant la prise.	TEMPS écoulé depuis le gâchage.	EFFORT EN GRAMMES correspondant à un enfoncement de 10 mm.	20 mm.	30 mm.	40 mm.	50 mm. (Enfoncement total.)	OBSERVATIONS.
	p. 100.	minutes.		h. min.						
Ciment à prise rapide.....	58	2	.....	3	0	0	0	0	0	0 signifie < 3 g.
				4	0	0	0	0	0	
				5	5	5	5	5	5	
				6	10	10	10	10	15	
				7	10	20	30	40	60	
				8	40	80	100	130	>400	
				9	100	230	400	>500	.....	
				10	230	450	>500	.....	.....	
Ciment à prise rapide.....	50	2	.....	3	5	5	5	5	10	
				4	5	10	20	70	130	
				5	20	45	400	>500	.....	
				6	200	225	>500	.....	.....	
				7	500	>500	.....	.....	.....	
Ciment naturel.	34	20	Gardée à l'air sous un verre.	0	0	0	0	0	0	L'excès d'eau est égoutté.
				45	3	3	3	3	30	
				2 15	5	10	10	10	60	
				4 30	10	15	15	25	25	
				7 45	30	30	30	40	60	
				9 45	370	400	400	350	>500	
				10 45	.....	830	.....	.....	.....	
				12	.....	1.100	.....	.....	.....	
Même ciment naturel.	34	20	Gardée sous l'eau.	0	0	0	0	0	0	
				4 30	5	5	5	5	5	
				7 45	10	20	25	25	60	
				9 45	30	40	50	60	130	
				10 45	30	50	80	130	300	
				12	120	160	180	200	250	
				23	.....	2.800	.....	.....	.....	
				26	.....	3.500	.....	.....	.....	
Ciment portland.	28	.....	.....	10	30	40	100	160	200	
				15	400	600	.....	.....	.....	

Les efforts nécessaires pour produire un enfoncement moyen de 20 millimètres croissent très régulièrement avec le temps, ce qui n'a pas lieu pour l'enfoncement total. En prenant pour le commencement de la prise l'enfoncement de 20 millimètres sous un effort de 50 grammes, on serait à peu près dans des conditions équivalentes à celle adoptée aujourd'hui d'un enfoncement total sous un effort de 300 grammes.

FIN DE PRISE.

Le procédé usuel pour reconnaître la fin de la prise est, au point de vue expérimental, aussi défectueux que possible. Le moment où l'aiguille n'enfonce plus n'est nullement défini; chaque opérateur fait nécessairement une convention arbitraire qui n'est pas celle de son voisin. Suivant que l'on considérera comme nul un enfoncement de 1 millimètre ou de 1/100 de millimètre, la durée de prise totale pourra varier du simple au double. La constatation d'un faible enfoncement se fait plus ou moins facilement suivant l'état de la surface; il est difficile de distinguer un enfoncement proprement dit du simple écrasement des aspérités de la surface qui peut donner une trace circulaire très nette.

Il semble, au contraire, que l'on peut obtenir des résultats très précis en définissant la fin de la prise par l'enfoncement de l'aiguille d'une quantité donnée sous un poids donné. Il me semble, bien que mes moyens de mesure pour des efforts aussi considérables ne fussent pas très précis, qu'un enfoncement de 1/10 de millimètre de l'aiguille Vicat, qui peut être considéré comme correspondant à la fin de prise, équivaut à un enfoncement de 20 millimètres de la même aiguille sous un effort de 3 kilogrammes.

On pourrait donc adopter les deux définitions :

Commencement de la prise : enfoncement de 20 millimètres pour 50 grammes;

Fin de la prise: enfoncement de 20 millimètres pour 3.000 grammes.

CONCLUSION.

Les essais de prise pourraient consister en 10 mesures d'efforts de pénétration faites à des intervalles égaux.

On déterminerait l'espacement de temps convenable au moyen de la première gâchée faite pour déterminer la consistance normale. On la laisserait faire prise et on verrait au pouce ou par un procédé sommaire quelconque quelle est la durée de prise convenable et on diviserait ce temps par 8 (pour en avoir, sur les 10, deux de réserve).

SUR

L'ÉCHAUFFEMENT DES CIMENTS

PENDANT LA PRISE.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. LE COMMANDANT RIBAUCOUR.

Dans la séance du 2 avril 1892, le Comité d'études de la Section B a émis l'avis que le thermomètre n'est pas à recommander pour la détermination du commencement de durcissement des pâtes de ciment portland, toutes réserves étant faites en ce qui concerne les mortiers.

Il a admis toutefois que des recherches au sujet des variations de température du ciment pendant la prise présenteraient, en général, un certain intérêt, et, en particulier, pour le Département de la Guerre qui met en œuvre, dans la construction d'abris à l'épreuve, des masses considérables de béton de ciment, lesquelles prennent rapidement une température qui dépasse de 45 degrés, en certains points, celle de l'air ambiant. (Voir à ce sujet la planche III.)

La note que nous avons l'honneur de présenter au Sous-Comité [1] donne les résultats d'une première série d'expériences qui ont été faites au laboratoire militaire de Boulogne sur des pâtes de ciment.

NATURE DES ESSAIS.

On s'est proposé de constater :

D'une part, les variations de température qui se produisent pendant la prise d'un ciment, et de rechercher d'autre part les relations qui peuvent exister entre ces variations de température et les autres conditions servant à caractériser les ciments : durée de la prise, analyse, densité apparente, finesse de mouture, résistance à la traction, essais de déformation par immersion dans l'eau froide, dans l'eau de mer, dans l'eau douce chaude.

En ce qui concerne l'essai d'échauffement proprement dit, on gâchait 1 kilogramme de

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

ciment pur avec la quantité d'eau nécessaire pour donner la pâte plastique définie par le cahier des charges de Boulogne; cette pâte, placée dans un vase en cuivre, recevait la cuvette d'un thermomètre, laquelle était tenue à une petite distance du fond, et l'on surveillait les indications du thermomètre en même temps que la marche du durcissement constaté par l'aiguille Vicat.

Les expériences étaient faites à l'air humide des caves du laboratoire, lequel est constamment maintenu à une température comprise entre 15 et 18 degrés, et le vase en cuivre, placé sur une table de marbre, n'était pas immergé.

Cinq ciments portlands artificiels, un ciment naturel et un ciment de laitier ont été l'objet de ces expériences.

RÉSULTATS.

Les résultats sont donnés par le tableau annexé à la présente note et par les diagrammes de la planche IV.

Dans les colonnes du tableau qui sont intitulées *Marche du durcissement et variations de la température,* on a mentionné :

T.E. Les temps qui se sont écoulés à partir du moment du gâchage où l'on verse l'eau sur le ciment;

D. La distance du fond du vase à laquelle s'arrête l'aiguille Vicat aux divers moments de la période de prise; il y a lieu de noter à ce sujet que le vase en cuivre n'était jamais entièrement rempli, et que la hauteur *h* de la masse de ciment était variable suivant la nature de ce ciment, le volume dépendant de sa densité et de la quantité d'eau ajoutée pour le gâchage;

T. La température de la pâte de ciment.

L'expérience prenait fin au moment où l'aiguille ne laissait plus de trace appréciable sur la partie supérieure de la masse, c'est-à-dire au moment qui, d'après la définition du cahier des charges de Boulogne, correspond à la fin de la prise.

Les principaux résultats fournis par le tableau et par les diagrammes sont mis en évidence au tableau ci-après, dans lequel on a mis à part les trois échantillons n^{os} I, II, III, qui sont de même nature (portland artificiel de la région du Boulonnais).

NATURE ET NUMÉROS DES ÉCHANTILLONS.	TEMPS ÉCOULÉ. pour D > o (commencement de prise).	pour D = h (fin de prise).	pour D = h − 5^{mm}.	entre D > o et D = h − 5^{mm}, c'est-à-dire pour la période nette de durcissement.	TEMPS écoulé jusqu'au moment de l'élévation maximum de température.	ÉLÉVATION MAXIMUM de température.
Portland artificiel I.....	1^h 17	9^h 27	1^h 24	0^h 7	1^h 25	7° 5
Portland artificiel II.....	0 22	4 15	1 25	1 3	1 5	4 5
Portland artificiel III.....	0 22	4 53	1 57	1 35	1 43	1
Portland artificiel IV.....	0^h 26	4^h 24	1^h 8	0^h 42	1^h 8	3°
Portland artificiel V.....	0 33	4 19	3 13	2 40	2 26	3
Ciment naturel VI.....	0 20	4 26	0 40	0 20	0 43	9 5
Ciment de laitier VII.....	0 37	4 27	2 47	2 10	2 57	1 5

De l'examen de ces renseignements, on déduit les observations suivantes, au sujet desquelles il y a lieu de faire certaines réserves, vu le nombre restreint des expériences :

a. La température commence à s'élever dans la masse avant que l'aiguille Vicat marque le commencement de prise;

b. La rapidité avec laquelle la masse de ciment prend la température maximum qu'elle peut atteindre ne paraît pas être fonction de la rapidité du commencement de la prise;

c. L'élévation de la température est, en général, d'autant plus grande que la marche du durcissement est plus rapide;

d. La décroissance de la température est généralement très lente, mais elle est d'autant moins lente que la marche du durcissement a été plus rapide;

e. En ce qui concerne la nature des ciments, si l'on met à part le ciment de laitier, produit spécial qui ne donne d'ailleurs qu'un échauffement insignifiant, il est à remarquer que le maximum d'échauffement 9° 5 a été donné par l'échantillon n° VI, qui correspond à un ciment naturel, lequel a une densité faible, une grosse mouture, des résistances à la traction faibles à l'eau douce notamment pour le mortier, mais fortes à l'eau de mer, ciment qui, en outre, se fendille lorsqu'on le soumet à l'épreuve de l'eau chaude.

Sur la demande du Comité d'études de la Section B, les essais d'échauffement, dont nous venons de donner les premiers résultats pour quelques pâtes de ciment, sont poursuivis et appliqués aux mortiers ainsi qu'aux bétons.

Nous aurons l'honneur de rendre compte de ces expériences au fur et à mesure de leur avancement.

Versailles, le 10 février 1893.

Le Chef de bataillon du Génie,

RIBAUCOUR.

Tableau annexe.

ESSAIS RELATIFS À L'ÉCHAUFFEMENT DES

TABLEAU

NUMÉRO DU CIMENT.	MARCHE DU DURCISSEMENT ET VARIATIONS DE LA TEMPÉRATURE.															ANALYS		
																SILICE.	ALUMINE.	PROTOXYDE DE FER.
I.	T.E.	0h	1h17	1h22	1h23	1h24	1h25	2h12	2h27	2h47	3h27	5h27	9h27			22,65	6,87	2,10
	D.	0	0	2	14	36	45	45	45	45	45	45	45					
	T.	17°	18°	20°	22°	23°	24°1/2	20°1/2	19°	18°1/2	18°	18°	18°					
II.	T.E.	0h	10′	22′	44′	51′	1h5	1h51	2h20	2h50	3h50	4h15				22,80	6,90	2,10
	D.	0	0	0	10	25	40	45	47	47	47	47						
	T.	18°	20°	21°	22°	22°	22°1/2	22°	21°	20°	19°	18°						
III.	T.E.	0h	22′	32′	43′	1h43	2h8	2h48	4h53	"	"					22,6	7,72	2,35
	D.	0	0	5	15	25	35	35	35	"	"							
	T	18°	18°1/2	19°	19°	19°	18°1/2	18°	18°	"	"							
IV.	T.E.	0h	26′	39′	45′	54′	1h8	1h46	2h39	3h24	4h24					23,4	7,4	2,2
	D.	0	0	10	27	35	45	50	50	50	50							
	T.	18°	19°	20°	20°1/2	21°	21°	20°	19°	18°1/2	18°							
V.	T.E.	0h	9′	34′	2h26	2h44	3h19	3h54	4h19							20	8,17	3,36
	D.	0	0	0	3	15	45	45	45									
	T.	18°	20°	21°	21°	20°	20°	19°	18°1/2									
VI.	T.E.	0h	6′	20′	31′	33′	36′	43′	56′	1h21	2h1	3h6	3h38	4h13	4h26	21,60	9,40	3,55
	D.	0	0	0	5	25	35	45	45	45	45	45	45	45	45			
	T.	18°	22°1/2	24°	26°	26°1/2	27°	27°1/2	27°	26°	24°	22°	20°1/2	19°	18°1/2			
VII.	T.E.	0h	37′	1h37	1h57	2h57	4h27									23,77	13,85	0,75
	D.	0	0	4	15	45	45											
	T.	18°	19°	19°1/2	19°1/2	19°1/2	19°											

PÂTES DE CIMENT PENDANT LA PRISE.

DES RÉSULTATS.

CHIMIQUE.								RÉSISTANCE À LA TRACTION.													
								EAU DE MER.						EAU DOUCE.							
								Ciment pur.			Mortier 1 : 3.			Ciment pur.			Mortier 1 : 3.				
CHAUX.	MAGNÉSIE.	ACIDE SULFURIQUE.	SULFURES.	PERTE AU FEU.	INDICE d'hydraulicité.	POIDS DU LITRE NON TASSÉ DE PIER. POUSSIÈRE.	RÉSIDU P. 100 AU TAMIS DE 5.000 MAILLES PAR CM².	1 semaine.	4 semaines.	12 semaines.	1 semaine.	4 semaines.	12 semaines.	1 semaine.	4 semaines.	12 semaines.	1 semaine.	4 semaines.	12 semaines.	FENDILLEMENTS À L'EAU DE MER et à l'eau douce.	FENDILLEMENT À L'EAU CHAUDE.
64,35	0,91	0,92	"	1,90	0,46	10,45	30,5	36	53,2	58	13,7	17,2	22,3	25,3	45,3	54,2	11,5	20,7	25,2	Néant.	Néant.
64,4	1,01	0,96	"	1,53	0,46	10,23	37,40	36	54,2	50,7	13,3	16,3	19,3	35,8	49,5	50,3	12	19,2	26,3	Néant.	Fendillement peu accentué.
64,4	0,86	0,68	"	1,49	0,47	10,85	30	41,5	55	48,2	14	17	21,3	34,7	45,2	46,5	17,2	23,8	31,7	Néant.	Néant.
61,2	1,78	0,81	"	3,21	0,50	10,66	26,8	32,2	46,8	53,5	10,5	14,8	19,2	25,5	37,5	45,2	10,80	15,8	24,8	Néant.	Néant.
62,65	1,94	1,94	"	2	0,45	10,40	21,50	60,7	68,7	64,5	20,5	26,5	29,3	54,5	56,2	57	18,2	28,7	36,8	Néant.	Néant.
56,55	3,17	3,15	0,16	2,42	0,55	9,82	40,7	35	56,2	62	11	28,5	31,2	21,2	23,8	34,5	7,3	10 7	17	Néant.	Fendillement très accentué.
62,65	1,18	0,49	0,45	6,86	0,71	7,40	22,5	19,2	26,5	30,2	10,50	12,2	15,7	22,7	27,7	28,7	14,2	23,2	31,80	Néant.	Néant.

SUR

LA PRISE DES MORTIERS SABLEUX.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. R. FERET.

I. CAS GÉNÉRAL.

La formule la plus générale du problème soumis au Sous-Comité (1) est la suivante :

Étant donné un mortier composé de proportions arbitraires d'un agglomérant et d'un sable quelconques, déterminer au bout de combien de temps il commence à durcir et à quel moment on peut le considérer comme complètement pris.

Ainsi qu'il a été dit dans le rapport relatif à la prise des pâtes de ciment pur, le début et la fin de la prise ne correspondent à aucun phénomène nettement caractérisé, et, par suite, ne peuvent être définis que par une règle conventionnelle.

Dans le cas spécial des mortiers sableux, il semble qu'on puisse admettre que la prise n'est pas commencée tant qu'on peut regâcher le mortier sans modifier ses propriétés finales et que le meilleur criterium de la fin de prise soit l'absence de déformation de la masse de mortier sous une action mécanique déterminée.

Dès lors, il paraît naturel de chercher à définir les deux époques en question en mesurant l'enfoncement d'une aiguille ou d'une tige de section et de poids connus, par une méthode analogue à celle que l'on pratique universellement dans le cas des pâtes pures.

D'ailleurs on aperçoit immédiatement que, pour que ce procédé soit applicable, la tige devra avoir une section suffisamment large pour toujours rencontrer plusieurs grains de sable, autrement l'enfoncement pourrait différer suivant qu'elle se présenterait contre un grain de sable ou dans le mélange de ciment et d'eau contenu dans l'intervalle de plusieurs grains.

En outre, à moins que le sable ne contienne que des grains extrêmement fins, la tige ne traversera jamais complètement la masse de mortier, à cause des grains de sable qui resteront

(1) Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

forcément interposés, de sorte que la définition du début de prise ne pourra être tout à fait la même que celle que le Comité a adoptée pour les pâtes de ciment pur.

Des expériences, relatées par le tableau ci-dessous, nous ont montré que l'épaisseur non traversée par la tige, immédiatement après le gâchage, dans des mortiers présentant tous une bonne consistance plastique analogue à celle de l'emploi, variait considérablement suivant leur richesse en ciment et la grosseur du sable.

Épaisseurs non traversées par une sonde cylindrique de 10 mm. de diamètre pesant 1 kg. descendue doucement dans des masses de mortier à consistance plastique de 80 mm. d'épaisseur.

A. — Mortiers à divers dosages faits avec un même sable.

[1/3 (5,0 — 2,0) + 1/3 (2,0 — 0,50) + 1/3 (passe 0,50).]

Poids d'agglomérant contenu dans un poids 1 de mélange sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
Épaisseur non traversée par la sonde (en mm.). Mortiers de ciment portland.	30	16	12	8	7	7	6	5	5	4
Épaisseur non traversée par la sonde (en mm.). Mortiers de chaux hydraulique	20	11	10	6	6	6	4,5	4,5	4,5	4

B. — Mortiers de même dosage faits avec des sables de compositions granulométriques différentes.

Proportions en poids de grains de chaque grosseur contenus dans un poids 15 de chaque sable mélangé. Grains G (5,0 — 2,0)	13	10	10	7	7	7	4	4	4	4	1	1	1	1	1
Grains M (2,0 — 0,50)	1	4	1	7	4	1	10	7	4	1	13	10	7	4	1
Grains F (passe 0,50)	1	1	4	1	4	7	1	4	7	10	1	4	7	10	13
Épaisseur non traversée par la sonde (en mm.). Mortiers 1 : 2	13?	30	13	19	11	8	13	8	8	8	9	7	8	8	8
Épaisseur non traversée par la sonde (en mm.). Mortiers 1 : 5	79	78	50	71	26	28	74	23	16	12	62	26	16	7	9

Enfin, on constate que souvent cette épaisseur non traversée commence à augmenter dès le début même de l'essai, sans que pourtant la prise puisse être considérée comme commencée, sans doute par suite d'une sorte de tassement des éléments du mortier, résultant de ce que l'eau tend à remonter à la surface.

En ce qui concerne la fin de prise, M. Deval, chef du laboratoire d'essais de la Ville de Paris, a bien voulu nous communiquer les résultats d'expériences qu'il a faites en vue de déterminer l'instant où une tige terminée par une calotte sphérique de 25 millimètres de rayon et pesant 6.700 grammes, cessait de marquer sa trace sur des plaques de mortier dont on avait eu soin de lisser la surface. A mesure que les mortiers devenaient plus durs, les empreintes étaient de plus en plus étroites et on les considérait comme nulles quand on cessait de les percevoir au toucher. Le tableau ci-dessous relate les résultats ainsi obtenus.

DÉSIGNATION DES CIMENTS.	DOSAGE EN POIDS.	FIN DE PRISE.			RÉSISTANCE TOTALE (briquettes de 16 cm²) AU MOMENT DE LA FIN DE PRISE.		
		SABLE NORMAL.	GRAVILLON.	TOUT VENANT.	SABLE NORMAL.	GRAVILLON.	TOUT VENANT.
		h. min.	h. min.	h. min.	kg.	kg.	kg.
Ciment rapide A....	1 : 2	40	30	25	25	25	19 (1)
	1 : 3	2	2	1 52	25	25	24
	1 : 5	9	8 30	8 30	16	15	15
Ciment rapide B....	1 : 2	50	45	45	13,5	15	12,5
	1 : 3	65	55	60	17	16,5	16,5
	1 : 5	13	8 (2)	13	2	0 (2)	4
Ciment rapide C....	1 : 2	30	20	20	32 (3)	25	25
	1 : 3	55	45	35	25	25	24
	1 : 5	8 30	7 30	8 15	22	22	24,5
Ciment portland D..	1 : 3	44	44	44	16	12	15
	1 : 5	49	49	49	5	4	2

(1) La prise a peut-être été constatée un peu tôt, car la résistance 19 kg. est faible.

(2) Prise incomplète après 8 heures. Résistance nulle.

(3) La prise a peut-être été constatée un peu tard, car la résistance 32 kg. est forte.

De notre côté, nous avons fait deux séries d'essais, les premiers avec une tige terminée par une calotte sphérique de 15 millimètres de diamètre, les seconds avec une autre terminée par

une surface plane de 10 millimètres de diamètre à bords légèrement arrondis. Nous avons opéré successivement avec des charges de 1 kg., 3 kg. et 6 kg.

TIGE EMPLOYÉE.	NATURE DU SABLE.	DOSAGE en POIDS.	EAU DE GÂCHAGE en fonction du poids total de matières sèches.	TEMPS ÉCOULÉ JUSQU'À CE QUE LA TIGE ne laisse plus de trace appréciable sous une charge de : 1 kg.	3 kg.	6 kg.
			p. 100.	h. min.	h. min.	h. min.
Tige à bout arrondi (sphère de 15 mm. de diamètre).	Gros sable..... (g=0,47; m 0,44; f=0,09).	1 : 2	12,2 (1)	2 50	5 20	7 45
		1 : 3	10,6 (1)	4	5 10	7 30
		1 : 5	9,1 (1)	5	5 35	8
	Sable fin..... (g=0,00; m 0,06; f=0,94).	1 : 2	17,8	10	21	31
		1 : 3	17,1	21	30	55
		1 : 5	16,9	25	53	121
Tige à bout plat de 10 mm. de diamètre (5 jours plus tard).	Gros sable..... (Même que ci-dessus).	1 : 2	11,6	2 40	4 30	6 30
		1 : 3	10,2	3	4 20	5 50
		1 : 5	8,9	3 45	4 45	6 15
	Sable fin..... (Même que ci-dessus).	1 : 2	17,8	7	23	31
		1 : 3	17,1	22	30	53
		1 : 5	16,9	24	56	83

(1) Mortiers un peu trop mous.

La tige arrondie a l'inconvénient de laisser des traces de plus en plus étroites, souvent difficiles à apprécier; en outre, il est nécessaire que son extrémité présente une courbure régulière et bien définie, ce qui doit compliquer notablement la fabrication de l'appareil. La tige plate est d'une construction plus simple, mais d'un emploi plus difficile, car il est indispensable qu'on la pose exactement à plat sur le mortier.

L'un et l'autre dispositif n'agissent d'ailleurs que sur la partie superficielle de celui-ci, partie dont la composition et l'impressionnabilité dépendent presque exclusivement de la manière dont le mortier a été lissé et des conditions extérieures d'exposition. Enfin, rien ne prouve *a priori* que, pour une tige de forme déterminée, l'époque où un même poids ne produit plus aucune trace puisse correspondre à un même degré de prise de tous les mortiers possibles. Le contraire paraît même vraisemblable, étant donné la différence déjà constatée des enfoncements d'une même tige, immédiatement après le gâchage, dans des mortiers de compositions différentes, mais de même plasticité. Il semble donc bien difficile de définir par l'enfoncement d'une tige le début et la fin de prise d'un mortier quelconque.

Nous avons essayé d'autres méthodes basées sur l'étude des variations que subissent, à partir du moment du gâchage, diverses propriétés des mortiers.

On peut, par exemple, dans l'espoir de caractériser la prise par une augmentation relativement rapide de la résistance, confectionner d'une même gâchée un certain nombre d'éprouvettes et en mesurer les résistances après de faibles durées de durcissement échelonnées convenablement pendant la période de la prise déterminée approximativement par une expérience préalable. Mais un pareil mode d'investigation est très délicat, en raison des difficultés que

présentent le démoulage et l'essai de mortiers encore très tendres. Il ne nous a conduit à aucun résultat pratique.

Nous avons de même essayé de mesurer l'adhérence d'un même mortier à des mortiers identiques gâchés depuis des temps régulièrement croissants. A cet effet, des moules prismatiques (prismes de 0 m. 04 de côté) étant disposés verticalement, on les a tous emplis à moitié d'un même mortier plastique, et l'on a achevé le remplissage avec des mortiers identiques au premier, gâchés respectivement au bout de 5 minutes, 3, 6, 9 et 12 heures. Après une semaine de conservation, on a déterminé les efforts nécessaires pour produire, en agissant par flexion, le décollage des deux demi-prismes. On voit, par le tableau ci-dessous, que ces essais n'ont permis de rien conclure.

NATURE DU SABLE.	DOSAGE en POIDS.	EAU DE GÂCHAGE en fonction du poids total de matières sèches.	CHARGES TOTALES NÉCESSAIRES POUR PRODUIRE LA RUPTURE. (Moyennes de 6 prismes.) Temps écoulés entre le gâchage des deux demi-prismes.				
			5 min.	3 h.	6 h.	9 h.	12 h.
		p. 100.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
Gros sable..... ($g = 0,47$; $m = 0,44$; $f = 0,09$).	1 : 2	11,5	150,8[1]	72,6	118,8	111,3	103,5
	1 : 5	9	51,3[1]	43,8	23,2	36,7	31,8
Sable fin..... ($g = 0,00$; $m = 0,06$; $f = 0,94$)	1 : 2	20	53,8	60,9	66,2	56,9	65,3
	1 : 5	19	16,2	21,2	16,4	16,5	16,5

[1] Pour ces deux groupes de mortiers, il y a eu arrachement et non décollement entre les deux demi-prismes.

Enfin nous avons cherché comment les résistances d'un mortier quelconque se trouvaient modifiées quand on le regâchait après des durées variables comptées à partir du premier gâchage. Dans ce but, on a gâché d'un seul coup, à consistance plastique, une masse de mortier assez considérable, dont on a prélevé immédiatement une certaine fraction pour confectionner quelques briquettes. Le reste a été laissé dans une cuvette. Après quelques heures, on a pris dans la cuvette une nouvelle fraction du mortier, que l'on a regâchée sans lui ajouter d'autre eau que celle qui avait pu s'en séparer pendant le repos, et, avec ce mortier regâché, on a fait une seconde série de briquettes. Après une nouvelle durée de repos, on a regâché et employé de même une troisième fraction du mortier initial, et ainsi de suite jusqu'à ce que ce premier mortier eut atteint une consistance telle qu'il fût impossible, après l'avoir effrité, de le ramener à l'état lié par un second gâchage, à moins d'ajouter de nouvelle eau. Toutes les briquettes tirées d'une même masse initiale de mortier ont été immergées après vingt-quatre heures et rompues après une semaine. Le tableau ci-après montre que, dans la plupart des cas, les résistances ont été d'abord d'autant plus faibles que le second gâchage avait eu lieu après des durées de repos plus prolongées, puis se sont relevées ensuite pour les mortiers regâchés plus

tardivement. Ce second phénomène est dû, sans doute, à ce que, vu leur état un peu grenu, on n'a pu mouler ces derniers mortiers sans leur faire subir un certain tassement.

MORTIERS 1 : 2.		EAU de gâchage en fonction du poids total de matières sèches.	ESSAIS À L'EAU DE MER.				ESSAIS À L'EAU DOUCE.			
CIMENT.	SABLE.		PRISE DE LA PÂTE de ciment pur immergée immédiatement.	Temps écoulé entre le 1er et le 2e gâchage.	ÉTAT DU MORTIER lors du 2e gâchage.	Résistance à la traction après 1 semaine (moy. de 6 brig.)	PRISE DE LA PÂTE de ciment pur immergée immédiatement.	Temps écoulé entre le 1er et le 2e gâchage.	ÉTAT DU MORTIER lors du 2e gâchage.	Résistance à la traction après 1 semaine (moy. de 6 brig.)
		p. 100.		h. min.		kg. par cm².		h. min.		kg. par cm².
Portland A.	Sable contenant 46 p. 100 de son poids de débris de coquilles. $g = 0,28$ $m = 0,41$ $f = 0,31$	14,7	Début : 34′	0	Mortier plastique.....	13,8	Début : 26′	0	Mortier plastique.....	15,5
				1	Pas de changement visible..	14,9		30	Commencement de durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.....	11,5
				2	Pas de changement visible..	14,7				
				3	Pas de changement visible...	14,7				
			Fin : 9h	4	Commencement de durcissement apparent.....	14,8	Fin : 6h	1	Plus sec.....	14,3
				5	Plus sec.....	14,9		1 15	Plus sec; difficile à regâcher.	17,3
				6	Très sec; difficile à regâcher.	16,8		1 30	Pris; n'a pu être lié.....	16,4
Portland B.	*Idem.*	14,7	Début : 5h 40	0	Mortier plastique.....	9,6	Début : 4h 10	0	Mortier plastique.....	7,0
				1	Pas de changement visible..	10,6		30	Pas de changement visible..	7,0
				2	Pas de changement visible..	10,1		1 30	Pas de changement visible...	7,8
				3 30	Pas de changement visible...	10,5		2 30	Pas de changement visible...	7,1
				5 30	Pas de changement visible...	8,7		3 30	Léger durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.	6,7
			Fin : 26h	7	Léger durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.	11,8	Fin : 10h	4	Plus sec; s'est mal ramolli..	7,6
				10	Pris; n'a pu être lié.....	11,3		4 30	Très difficile à regâcher.....	7,8
Portland C.	Sable de dunes fin. $g = 0,00$ $m = 0,03$ $f = 0,97$	20,0	"	0	Mortier plastique.....	5,7	Début : 10′	0	Mortier plastique.....	5,1
				1	Pas de changement visible..	6,4		30	Commencement de durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.....	5,9
				2 30	Pas de changement visible..	6,0				
				5 30	Pas de changement visible...	5,7		45	Moins bien ramolli.....	6,1
			"	7 30	Commencement de durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.....	5,2	Fin : 2h 30	1	Sec; mal ramolli.....	5,9
				8 30	Moins bien ramolli.....	5,3		1 15	Plus sec; difficile à regâcher.	4,6
				9	Pris; n'a pu être lié.....	6,2		1 30	Pris; n'a pu être lié.....	4,9
Portland D.	*Idem.*	21,0	Début : 8h	0	Mortier plastique.....	7,1	Début : 3h 52	0	Mortier plastique.....	4,0
				3 30	Pas de changement visible...	7,3		4	Pas de changement visible...	4,0
				7 30	Commencement de durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.....	6,0		6	Commencement de durcissement; s'est bien ramolli par le 2e gâchage.....	3,8
				8 30	Un peu plus sec; s'est bien ramolli.....	6,1	Fin : 12h	6 30	Plus sec.....	3,6
			Fin : 27h	9 30	Plus sec.....	5,7		7	Difficile à regâcher.....	3,1
				10 30	Sec; difficile à regâcher.....	5,1		7 30	Pris; n'a pu être lié.....	3,2
				11	Pris; n'a pu être lié.....	4,7				

En somme, cette expérience, quoique un peu plus nette que les précédentes, ne donne sur la prise des mortiers aucune indication pratiquement utilisable.

Nous croyons donc que, pour le moment, la Commission n'est pas en état de recommander une règle à suivre pour l'essai de prise des mortiers sableux *quelconques*, et qu'on devra se contenter de déterminer approximativement la fin de prise de ces mortiers, en cherchant après combien de temps ils commencent à résister sans déformation apparente à la pression du pouce.

II. — ESSAIS SPÉCIAUX.

Mais on peut avoir un autre but que de déterminer pour elle-même la prise des mortiers. Si, par exemple, on veut comparer deux ciments entre eux au point de vue de la rapidité de

leur prise, on peut se proposer, au lieu d'étudier la prise des pâtes qu'ils fournissent quand on les gâche purs avec de l'eau, de faire, avec ces deux ciments et une même proportion d'un même sable, deux mortiers de même consistance et de même composition, dont on suivra la prise par des moyens identiques. Il est évident que, s'il est réalisable, un pareil essai inspirera plus de confiance que celui fait sur des pâtes pures, étant donné sa plus grande analogie avec les conditions de la pratique.

On a déjà proposé, dans le même but, de faire l'essai de prise des pâtes pures en gâchant celles-ci avec des proportions d'eau plus fortes que celles qui correspondraient à la consistance normale. On a pensé se rapprocher ainsi davantage des conditions dans lesquelles le ciment subit l'action de l'eau dans les mortiers sableux. Il a été dit dans un autre rapport [1] que ces essais, dont la portée paraît d'ailleurs discutable, n'étaient pas sans présenter certaines difficultés d'exécution. Il serait évidemment bien préférable de pouvoir opérer directement sur des mortiers sableux.

Le tableau ci-dessous rend compte d'essais que nous avons faits en vue de comparer, pour divers composés hydrauliques, les durées de prise constatées soit au moyen de pâtes de ciment à consistance normale, soit au moyen de pâtes molles, soit au moyen de mortiers sableux. Pour les pâtes de ciment plus ou moins molles, on a employé le dispositif normal, aiguille Vicat de 300 g. et boîte de 4 cm. de hauteur. Quant aux mortiers, ils ont tous été obtenus en mélangeant une partie en poids de ciment à deux parties de sable de dunes de Boulogne (passant presque complètement à la tôle à trous de 0 mm. 50 de diamètre) et gâchant le mélange avec une quantité d'eau douce telle qu'ils présentassent une consistance liée et plastique. Puis ils ont été introduits dans des boîtes cylindriques de 0 m. 09 de hauteur et 0 m. 10 de diamètre et essayés de temps en temps au moyen d'une tige à section carrée de 0 m. 005 de côté, pesant 2,500 g.

On a constaté que, bien qu'il restât toujours, même au début de l'expérience, une certaine épaisseur de matière entre le fond de la boîte et l'extrémité de la tige, néanmoins la courbe des enfoncements suivait une allure bien régulière, propre à caractériser la prise du mortier. Vu la difficulté d'apprécier exactement le début et la fin de la prise, le tableau indique, pour les pâtes pures comme pour les mortiers, l'instant correspondant au passage de la courbe à mi-hauteur.

DÉSIGNATION DES PRODUITS.	PROPORTION D'EAU correspondant à la consistance normale du ciment pur.	PROPORTION D'EAU employée pour le gâchage du mortier sableux (exprimée en fonction du ciment seul).	TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LE GÂCHAGE JUSQU'À L'INSTANT OÙ L'AIGUILLE S'ARRÊTE AU MILIEU DE L'ÉPAISSEUR DU MORTIER. Mortiers laissés à l'air. Ciment pur. Consistance normale.	Mortiers laissés à l'air. Ciment pur. Pâtes molles.		Mortiers laissés à l'air. Mortier sableux plastique.	Mortiers immergés immédiatement. (Eau douce.) Ciment pur. Consistance normale.	Mortiers immergés immédiatement. (Eau douce.) Ciment pur. Pâtes molles.		Mortiers immergés immédiatement. (Eau douce.) Mortier sableux plastique.
	N	α N	N	1,25 N	1,50 N	α N	N	1,25 N	1,50 N	α N
	p. 100.	α =	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.
Divers ciments portlands.	24,0	2,26	6	12	15	14	6	13	16	14
	23,7	2,27	12	15	20	21	12	15	21	21
	27,3	1,98	18	22	26	23	19	23	28	23
	24,7	2,26	8	16	—	30	8	15	—	1
	22,0	2,34	25	1	5 30	42	24	1	6	—
	24,0	2,32	0	9	47	43	0	10	1 27	50
	23,7	2,26	21	42	1	51	21	36	1	48
	24,0	2,26	48	1	54	1 35	50	1 7	1	1 42
	23,7	2,27	36	57	1 7	2 33	37	1 11	1 30	2 54
	26,0	2,15	—	3 9	3 9	4	—	3 50	5 20	6 5
	24,0	2,22	10 10	13 10	14	12	10 35	14 50	15 10	12 20
Ciments additionnés de gypse.	27,5	2,11	6 20	6 55	7 50	8 15	7 55	9 30	10 15	10 35
	24,6	2,26	7 20	10	11 50	10 5	9 10	13 15	> 14h	12 40
Ciment rapide.	31,5	2,02	13	14	15	19	13	16	18	21
Ciments de grappiers.	31,0	1,82	6 35	7 50	9 12	7 40	7 5	10 25	> 11h	8 25
	33,0	1,69	8 45	10 30	13	10	9 10	11	12	11 35

[1] Rapport de MM. Alexandre et Feret sur la prise des pâtes de ciment (p. 111).

D'autres essais ont été exécutés avec des mortiers dosés à raison d'une partie en poids de ciment pour trois parties de sable de Boulogne [1], gâchés à l'eau de mer à consistance plastique et introduits dans deux boîtes cylindriques de 0 m. 09 de hauteur et 0 m. 10 de diamètre laissées à l'air. Les piqûres, répétées toutes les trois heures, ont été faites, d'une part avec une tige à section carrée de 0 m. 005 de côté pesant 2.500 g. et, d'autre part, avec une tige à section carrée de 0 m. 010 de côté pesant 1.000 g. Le tableau ci-dessous indique les épaisseurs non traversées trouvées à chaque période pour un certain nombre de composés hydrauliques.

DÉSIGNATION DES PRODUITS.	PÂTE DE CIMENT pur à consistance normale. Début de prise.	MORTIER SABLEUX. ÉPAISSEUR NON TRAVERSÉE. (en millimètres) Tige de 0m. 005 × 0m. 005 pesant 2.500 g.						Tige de 0m. 010 × 0m. 010 pesant 1.000 g.					
		5 min.	3 h.	6 h.	9 h.	12 h.	24 h.	5 min.	3 h.	6 h.	9 h.	12 h.	24 h.
	h. min.												
Ciments portlands	17	2	17	46	49	62	90	15	71	83	88	90	90
	35	3	7	88	90	90	90	7	56	89	90	90	90
	45	2	9	90	90	90	90	6	46	90	90	90	90
	1 15	3	41	90	90	90	90	16	82	90	90	90	90
	2	2	3	5	16	39	90	11	41	59	77	86	90
	3 30	2	4	9	23	70	90	8	44	59	82	87	90
	4	4	4	41	77	86	90	10	55	81	89	90	90
	6 15	2	4	6	45	70	90	6	29	63	87	90	90
	8 17	2	2	4	5	7	85	9	28	46	57	66	90
	11	2	4	4	5	8	41	23	53	54	59	67	90
Ciment rapide	8	2	90	90	90	90	90	12	90	90	90	90	90
Ciment de grappiers	4 30	1	3	18	68	85	90	6	25	73	89	90	90
Ciments de laitier	1 40	2	5	72	90	90	90	5	78	90	90	90	90
	3 15	2	4	15	53	80	90	4	21	75	89	90	90
	6 15	1	4	4	7	23	80	5	11	29	62	77	85
	> 14h	2	4	4	6	7	40	8	30	55	74	84	90
Chaux hydrauliques	5 30	2	4	4	15	44	90	6	32	65	83	85	90
	9 30	2	3	5	9	30	84	7	35	56	69	71	89

Enfin le tableau ci-dessous relate des essais faits avec l'aiguille Vicat normale sur des mortiers plastiques à divers dosages composés respectivement des mêmes ciments et d'un sable quartzeux très fin passant à la toile de 900 mailles et retenu par celle de 4.900 mailles au centimètre carré.

PÂTES ET MORTIERS PLASTIQUES IMMERGÉS DANS L'EAU DOUCE aussitôt après le gâchage.	DÉBUT DE PRISE. CIMENT pur.	MORTIERS SABLEUX. 1 : 2	1 : 3	1 : 5	FIN DE PRISE. CIMENT pur.	MORTIERS SABLEUX. 1 : 2	1 : 3	1 : 5
	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.
Ciments portlands	9	9	10	13	2 40	22 30	48	71
	1 10	7	(12) ?	(16) ?	7	32	53	95
	1 10	7 30	(11) ?	(14) ?	6 30	28	33	54
Ciment rapide	12	16	20	29	28	49	2 30	(a)
Ciments de grappiers	4	8	(11) ?	(15) ?	25	29	49	73
	6 30	(12) ?	19	22	28	32	54	96
Chaux hydraulique	(5) ?	17	21	28	47	140	145	(a)

(a) La surface du mortier a fini par se boursoufler légèrement, de sorte que l'aiguille y laissait toujours une empreinte.

Dans ces expériences, l'aiguille a pu traverser complètement les mortiers, de sorte qu'à chacun correspond une courbe de prise analogue à celles des pâtes de ciment. On constate

[1] La composition granulométrique de ce sable était à peu près : $g = 0,11$; $m = 0,25$; $f = 0,64$.

que ces courbes sont d'autant plus allongées que les mortiers sont plus maigres. Les avantages et les inconvénients de la méthode sont d'ailleurs à peu près les mêmes que ceux qui ont été signalés dans le rapport précité au sujet des essais de prise des pâtes de ciment. En particulier, la fin de prise est difficile à apprécier exactement. Nous avons remarqué qu'on obtenait pour la fin de prise des durées suffisamment concordantes soit qu'on la déterminât au moyen du pouce, de l'aiguille Vicat de 300 g. ou de la sonde de 10 mm. de diamètre chargée de 5 kg.

En résumé, il ressort des diverses expériences qui viennent d'être citées qu'il est possible de comparer la prise de mortiers *de même composition* faits avec des agglomérants différents.

Afin de pouvoir exécuter les essais par la même méthode et avec les mêmes dispositifs que ceux des pâtes de ciment, il sera nécessaire d'employer un sable très fin, de manière que, la dimension des grains étant négligeable par rapport à la section de l'aiguille, celle-ci se trouve toujours dans les mêmes conditions, en quelque point de la masse de mortier qu'elle se présente. En outre, le choix d'un sable fin aura l'avantage d'exiger pour le gâchage une proportion d'eau relativement considérable, ce qui exagérera la différence entre l'essai de pâte pure et celui de mortier sableux et augmentera par là même l'intérêt de ce dernier.

On pourrait, pour ces essais, choisir comme normal un sable quartzeux dont les grains, passant à la toile métallique de 900 mailles, soient retenus par celle de 4.900 mailles par centimètre carré, grosseur correspondant à une fraction notable des grains de la plupart des agglomérants connus.

Le dosage normal serait, comme pour les essais de résistance, d'une partie en poids de ciment pour trois de sable.

Enfin on déterminerait la proportion d'eau à employer en définissant, comme on l'a fait pour les pâtes de ciment, la consistance normale du mortier au moyen de la sonde cylindrique de 10 mm. de diamètre pesant 300 grammes. Ce procédé est justifié par les expériences suivantes :

MORTIERS COMPOSÉS DE 250 GRAMMES D'AGGLOMÉRANT et 750 grammes de sable quartzeux [1] (900 — 4.900) introduits après gâchage de 5 minutes dans une boîte tronconique de 0 m. 04 de hauteur.	PROPORTION D'EAU correspondant à la consistance normale de la pâte pure.	POIDS D'EAU correspondant à des consistances admissibles pour le mortier.	ÉPAISSEURS non traversées par la sonde de 10 mm. de diamètre pesant 300 grammes.
	p. 100.	grammes.	millimètres.
Ciments portlands — grosse mouture	21	De 250 à 270.	De 30 à 20.
Ciments portlands — mouture moyenne	24,5	De 250 à 270.	De 23 à 16.
Ciments portlands — fine mouture	28	De 245 à 265.	De 24 à 15.
Ciment de laitier	37	De 240 à 260.	De 24 à 10.
Chaux hydraulique	44	De 270 à 290.	De 22 à 9.

[1] Quartzite de Cherbourg moulu.

On voit qu'en adoptant l'épaisseur de 20 mm., qui correspond juste au milieu de la rondelle de mortier, on aura une consistance convenant à tous les genres d'agglomérants. Le procédé définit d'ailleurs la proportion d'eau d'une manière très exacte, car, à un écart dans cette proportion d'eau égal à 1 p. 100 du poids total des matières sèches, correspond une différence d'environ 5 mm. d'épaisseur non traversée par la sonde.

Le tableau ci-dessous met en regard les résultats fournis pour divers agglomérants par les essais normaux de prise de pâtes pures et par les essais de mortiers sableux répondant aux conditions proposées.

PÂTES ET MORTIERS PLASTIQUES IMMERGÉS DANS L'EAU DOUCE immédiatement après le gâchage.	PRISE À L'AIGUILLE VICAT DE 300 GRAMMES. Début. Pâte pure.	Mortier 1 : 3 au sable (900-4.900)	Fin. Pâte pure.	Mortier 1 : 3 au sable (900-4.900)	FIN DE PRISE AU POUCE. Pâte pure.	Mortier 1 : 3 au sable (900-4.900)	Mortier 1 : 3 au sable naturel. [1]
	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.	h. min.
Ciments portlands	25	1	4 30	32	4 30	32	23
	25	2 30	5	72	5	72	51
	26	10	5	32	5	30	29
	30	5	6	66	6	66	48
	2 30	6	8 30	57	8 30	57	26
	3	(15)?	13	54	13	54	49
	3	8	8	46	8	46	31
Ciment rapide	8	18	22	27	22	27	3
Ciment de grappiers	10	17	49	67	47	67	44
Ciment de laitier	7	16	34	62	32	62	47
Chaux hydraulique	16	18	67	98	67	98	98

[1] Sable de Boulogne défini plus haut (p. 146.)

En comparant les quatre premiers ciments portlands, qui, en pâte pure, ont fait prise sensiblement dans le même temps, on remarque que les mortiers plastiques qu'ils ont donnés avec un sable naturel ont présenté au contraire de grandes différences de prise, qu'on a retrouvées encore plus accusées pour les mortiers au sable fin.

Il semble donc démontré que ces derniers mortiers renseignent mieux que les pâtes de ciment sur la prise des mortiers de la pratique; pourtant il ne faudrait pas compter sur une proportionnalité absolument rigoureuse.

Dès lors, si le Comité partage notre manière de voir, on pourrait formuler comme il suit les règles à recommander pour l'essai de prise des mortiers sableux.

III. — CONCLUSIONS PROPOSÉES.

A. — On ne connaît actuellement aucun moyen précis de déterminer le début et la fin de prise d'un mortier sableux *quelconque;* provisoirement on se contentera, pour les mortiers plastiques et non comprimés, de considérer comme fin de prise l'instant où le mortier devient capable de résister sans déformation apparente à la pression du pouce.

B. — Pour comparer plusieurs agglomérants entre eux, on pourra procéder à des essais de prise sur des mortiers spéciaux de composition bien déterminée.

Ces mortiers seront composés en poids d'une partie d'agglomérant et de trois parties de sable.

Le sable à employer pour ces essais sera un sable quartzeux, composé exclusivement de grains passant au tamis de 900 mailles et retenus par le tamis de 4,900 mailles par centimètre carré.

La proportion d'eau à adopter devra être telle qu'après avoir gâché pendant cinq minutes avec cette proportion d'eau un mélange intime de 250 grammes d'agglomérant et 750 grammes du sable ci-dessus défini, on obtienne un mortier dans lequel la sonde de 10 mm. de diamètre et du poids de 300 grammes, employée dans les mêmes conditions que pour la détermination de la consistance normale des pâtes de ciment, s'arrête à 20 mm. du fond de la boîte.

On déterminera le début et la fin de prise du mortier ainsi défini au moyen du même appareil et dans les mêmes conditions que pour l'essai de prise des pâtes de ciment.

Boulogne-sur-Mer, le 7 mars 1893.

R. FERET.

SUR

LE MESURAGE DES BRIQUETTES

POUR ESSAIS À LA TRACTION.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. P. DEBRAY.

Sur la proposition de M. Brüll, le Comité d'études a chargé le Sous-Comité (1) de faire procéder au mesurage d'un certain nombre de briquettes en 8 pour essais à la traction, afin de s'assurer si leur section rétrécie était exactement de 5 centimètres carrés ou quelles pouvaient être les différences en plus ou en moins.

Satisfaction a été donnée à cette décision du Comité au moyen de mesurages effectués :

1° Au laboratoire du Génie de Boulogne-sur-Mer ;

2° Au laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne-sur-Mer ;

3° Au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées.

1° MESURAGES FAITS AU LABORATOIRE DU GÉNIE DE BOULOGNE-SUR-MER.

Au laboratoire du Génie, on a opéré de la façon suivante pour vérifier spécialement les dimensions des moules.

On a pris quatre moules en service courant, portant les numéros 15, 43, 66 et 74, et l'on a confectionné dans ces moules quatre séries de 19 briquettes chacune, de pâte de ciment portland gâché à l'eau douce et quatre séries de 5 briquettes chacune, de pâte de ciment portland gâché à l'eau de mer; les briquettes ont été laissées pendant huit heures dans leurs moules au contact de l'air humide des caves du laboratoire, puis démoulées. On a alors mesuré leur

(1) Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président ;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

section rétrécie, dans les deux sens (largeur et épaisseur), au moyen d'un pied à coulisse muni d'un vernier prêté par l'École des Ponts et Chaussées.

Les résultats de mesurages sont consignés dans le tableau ci-après :

Numéros des moules...	15.			43.			66.			74.		
	DIMENSIONS DES BRIQUETTES.			DIMENSIONS DES BRIQUETTES.			DIMENSIONS DES BRIQUETTES.			DIMENSIONS DES BRIQUETTES.		
	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.
	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².
1° Briquettes gâchées à l'eau douce.												
1	22,6	22,4	5,06	22,6	22,5	5,09	23,0	22,5	5,18	22,8	22,5	5,13
2	22,6	22,8	5,15	22,5	22,5	5,06	23,0	22,5	5,18	22,8	22,7	5,18
3	22,6	22,5	5,09	22,5	22,5	5,06	23,0	22,5	5,18	22,7	22,4	5,08
4	22,6	22,5	5,09	22,5	22,6	5,09	23,1	22,6	5,22	22,8	22,6	5,15
5	22,6	22,6	5,11	22,6	22,6	5,11	23,2	22,5	5,22	22,8	22,5	5,13
6	22,6	22,6	5,11	22,5	22,5	5,06	23,1	22,5	5,20	22,7	22,4	5,08
7	22,6	22,6	5,11	22,5	22,5	5,06	23,1	22,6	5,22	22,8	22,5	5,13
8	22,7	22,6	5,13	22,6	22,6	5,11	23,0	22,7	5,21	22,9	22,6	5,18
9	22,7	22,5	5,11	22,6	22,5	5,09	23,1	22,6	5,22	22,8	22,6	5,15
10	22,6	22,6	5,11	22,6	22,6	5,11	23,1	22,5	5,20	22,9	22,5	5,15
11	22,7	22,6	5,13	22,6	22,5	5,09	23,0	22,6	5,20	22,9	22,6	5,18
12	22,7	22,7	5,16	22,7	22,5	5,11	23,1	22,5	5,20	22,8	22,6	5,15
13	22,7	22,8	5,18	22,5	22,7	5,11	23,2	22,7	5,27	22,8	22,7	5,18
14	22,7	22,7	5,16	22,6	22,6	5,11	23,1	22,6	5,22	22,9	22,5	5,15
15	22,8	22,8	5,20	22,6	22,8	5,15	23,1	22,6	5,22	23,0	22,7	5,21
16	22,6	22,7	5,13	22,5	22,7	5,11	23,2	22,6	5,24	23,0	22,6	5,20
17	22,8	22,6	5,15	22,6	22,7	5,13	23,1	22,8	5,27	22,8	22,6	5,15
18	22,6	22,6	5,11	22,5	22,5	5,06	23,2	22,5	5,22	22,8	22,6	5,15
19	22,7	22,5	5,11	22,6	22,6	5,11	23,1	22,6	5,22	22,8	22,5	5,13
Moyennes partielles.	.....	.....	5,126	.....	.....	5,096	.....	.....	5,215	.....	.....	5,147

Moyenne générale..... 5 cm². 147

2° Briquettes gâchées à l'eau de mer.

1	22,6	22,9	5,18	22,5	22,5	5,06	23,0	22,6	5,20	22,8	22,7	5,18
2	22,6	22,7	5,13	22,6	22,6	5,11	23,1	22,6	5,22	22,9	22,7	5,20
3	22,6	22,5	5,09	22,5	22,6	5,09	23,0	22,5	5,18	22,8	22,5	5,13
4	22,7	22,6	5,13	22,5	22,5	5,06	23,1	22,6	5,22	22,9	22,6	5,18
5	22,8	22,8	5,20	22,5	22,7	5,11	23,2	22,9	5,31	22,8	22,6	5,15
Moyennes partielles.	.....	.....	5,146	.....	.....	5,086	.....	.....	5,226	.....	.....	5,168

Moyenne générale..... 5 cm². 157

2° MESURAGES FAITS AU LABORATOIRE DES PONTS ET CHAUSSÉES DE BOULOGNE-SUR-MER.

Les mesurages, faits dans les mêmes conditions qu'au laboratoire du Génie, au moyen d'un pied à coulisse pour l'épaisseur comme pour la largeur, ont porté sur des séries de briquettes de ciment pur et de briquettes de mortier sableux à 1 : 3, les unes conservées à l'air, les autres immergées soit dans l'eau douce, soit dans l'eau de mer, chaque série se composant de 10 briquettes, d'âges divers, plus ou moins recouvertes de tartre.

On a obtenu les résultats suivants :

	BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR.						BRIQUETTES IMMERGÉES DANS L'EAU DOUCE.						BRIQUETTES IMMERGÉES DANS L'EAU DE MER.					
	Briquettes en pâte de ciment pur.			Briquettes en mortier sableux.			Briquettes en pâte de ciment pur.			Briquettes en mortier sableux.			Briquettes en pâte de ciment pur.			Briquettes en mortier sableux.		
	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.	Largeur.	Épaisseur.	Surface.
	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².
1.....	23,0	22,3	5,12	22,5	22,7	5,10	23,0	22,8	5,25	23,2	22,7	5,25	22,7	22,5	5,10	23,2	23,0	5,32
2.....	23,0	22,3	5,12	22,4	22,9	5,12	22,9	22,6	5,19	23,0	22,8	5,25	23,7	23,3	5,52	23,4	23,1	5,40
3.....	22,7	22,5	5,10	22,9	23,2	5,30	23,1	22,6	5,21	23,4	23,0	5,38	23,6	23,9	5,64	22,6	23,0	5,20
4.....	22,5	22,3	5,02	22,6	23,2	5,22	23,1	22,8	5,26	22,4	22,9	5,13	23,0	22,6	5,19	23,8	23,4	5,58
5.....	22,5	22,4	5,03	22,6	22,7	5,12	22,5	22,2	4,99	22,5	22,7	5,10	24,3	23,9	5,78	22,7	23,0	5,22
6.....	22,3	22,5	5,02	23,0	22,9	5,27	22,9	22,3	5,09	23,0	23,0	5,29	23,7	23,2	5,50	23,1	23,5	5,42
7.....	22,8	22,3	5,09	22,6	22,9	5,17	22,2	22,3	4,95	22,9	22,8	5,22	23,6	23,5	5,54	23,3	23,3	5,41
8.....	22,7	22,4	5,05	22,8	22,8	5,20	22,6	22,4	5,05	23,2	23,0	5,33	24,0	23,0	5,52	24,0	23,5	5,78
9.....	22,4	22,6	5,08	23,0	23,0	5,29	22,6	22,5	5,09	23,2	23,0	5,33	23,0	22,5	5,18	22,9	23,0	5,28
10.....	22,8	22,6	5,16	22,6	23,0	5,18	22,9	22,5	5,17	22,8	22,4	5,11	23,0	22,3	5,12	22,2	23,2	5,14
MOYENNES.	22,67	22,42	5,08	22,93	22,70	5,20	22,78	22,50	5,13	22,96	22,83	5,24	23,46	23,07	5,41	23,18	23,20	5,38

3° MESURAGES FAITS AU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Les mesurages, au nombre de 995, ont porté sur 637 briquettes de pâtes pures et de mortiers, de différents produits (ciments portlands naturels ou artificiels, ciments mixtes, ciments de laitier, ciments à prise rapide, ciments de grappiers, chaux hydrauliques), de différents âges (28 jours, 84 jours, 6 mois, 1 an, 2 ans), conservées soit dans l'eau douce, soit à l'air humide, dont on a déterminé la largeur avec un pied à coulisse et l'épaisseur au moyen d'un palmer par trois mesurages.

Les briquettes conservées dans l'eau douce se recouvrent à la longue d'un dépôt plus ou moins épais, beaucoup moins consistant que le corps de la briquette dont il se détache assez facilement. Les briquettes étant jusqu'à ce jour placées les unes à côté des autres au contact sur les faces latérales, le dépôt de tartre qui s'est produit sur le contour de toutes les briquettes n'a pu se produire que sur l'une des faces latérales de chacune des briquettes extérieures de chaque série ; dans ces conditions, on a, pour une grande partie des briquettes conservées dans l'eau, déterminé non seulement la largeur avec tartre, mais aussi la largeur sans tartre ; pour l'épaisseur, on a pris l'épaisseur sans tartre.

Les tableaux annexés à la présente note indiquent les constatations faites, que nous résumons d'ailleurs dans le tableau ci-après :

ÂGE DES BRIQUETTES.	RÉSULTATS DES MESURAGES À L'AIR HUMIDE. Briquettes de pâte de ciment ou chaux. Nombre de briquettes mesurées.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Briquettes de mortier sablieux. Nombre de briquettes mesurées.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.
								Ciments portlands
28 jours	12	4,97	5,09	5,037	12	5,10	5,23	5,165
84 jours	11	5,03	5,09	5,062	12	5,04	5,18	5,132
6 mois	12	5,02	5,09	5,045	12	5,06	5,20	5,130
1 an	12	5,03	5,11	5,057	19	5,06	5,14	5,099
2 ans	12	5,04	5,18	5,096	12	5,03	5,21	5,112
Totaux et moyennes	59	4,97	5,18	5,059	67	5,03	5,23	5,128
								Ciments
6 mois	"	"	"	"	"	"	"	"
								Ciments
6 mois	"	"	"	"	"	"	"	"
1 an	"	"	"	"	"	"	"	"
2 ans	"	"	"	"	"	"	"	"
Totaux et moyennes	"	"	"	"	"	"	"	"
								Ciments
84 jours	9	4,90	4,99	4,947	12	5,05	5,16	5,120
6 mois	"	"	"	"	"	"	"	"
2 ans	"	"	"	"	12	5,06	5,16	5,106
Totaux et moyennes	9	4,90	4,99	4,947	24	5,05	5,16	5,113
								Ciments à
1 an	12	5,02	5,15	5,087	12	5,10	5,21	5,138
2 ans	11	5,05	5,13	5,095	12	5,03	5,15	5,096
Totaux et moyennes	23	5,02	5,15	5,091	24	5,03	5,21	5,117
								Chaux
28 jours	11	5,00	5,17	5,070	18	5,02	5,18	5,121
84 jours	6	4,98	5,02	5,012	5	5,12	5,18	5,155
6 mois	"	"	"	"	"	"	"	"
1 an	"	"	"	"	"	"	"	"
2 ans	"	"	"	"	"	"	"	"
Totaux et moyennes	17	4,98	5,17	5,041	23	5,02	5,18	5,136
Totaux et moyennes pour tous les produits	108	4,90	5,18	5,035	138	5,02	5,23	5,12[illegible]

AU PALMER ET AU PIED À COULISSE DE LA SECTION MINIMUM DES BRIQUETTES CONSERVÉES :

DANS L'EAU DOUCE.

Briquettes de pâte de ciment ou chaux								Briquettes de mortier sableux							
avec tartre.				sans tartre.				avec tartre.				sans tartre.			
Nombre de briquettes mesurées.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Nombre de briquettes mesurées.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Nombre de briquettes mesurées.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.	Nombre de briquettes mesurées.	Minimum.	Maximum.	Moyenne.
naturels ou artificiels.															
18	5,03	5,11	5,079	24	4,97	5,10	5,042	18	5,10	5,31	5,174	24	5,08	5,28	5,138
11	5,12	5,18	5,147	17	5,00	5,10	5,030	12	5,11	5,27	5,154	18	5,06	5,20	5,112
12	5,04	5,19	5,102	12	4,98	5,10	5,037	12	5,10	5,26	5,193	12	5,03	5,23	5,146
12	5,08	5,23	5,129	18	4,97	5,12	5,050	10	5,11	5,28	5,197	24	5,05	5,17	5,123
12	5,08	5,24	5,152	12	4,97	5,09	5,047	12	5,13	5,36	5,252	12	5,10	5,23	5,179
65	5,03	5,23	5,122	83	4,97	5,12	5,041	64	5,10	5,36	5,194	90	5,03	5,28	5,140
mixtes.															
6	5,09	5,18	5,120	12	4,99	5,08	5,047	12	5,11	5,20	5,160	12	5,08	5,14	5,115
de laitier.															
6	5,00	5,06	5,035	6	4,94	4,98	4,967	6	5,10	5,20	5,138	6	5,08	5,12	5,102
4	5,01	5,05	5,030	4	5,00	5,02	5,008	6	5,12	5,22	5,185	6	5,07	5,13	5,105
6	5,10	5,15	5,132	6	5,01	5,09	5,062	6	5,21	5,25	5,235	6	5,14	5,22	5,198
16	5,00	5 15	5,066	16	4,94	5,09	5,012	18	5,10	5,25	5,186	18	5,07	5,22	5,135
de grappiers.															
5	4,95	5,01	4,992	10	4,91	4,99	4,954	12	5,11	5,24	5,170	12	5,09	5,21	5,140
6	5,03	5,10	5,061	6	4,97	5,04	5,005	6	5,11	5,18	5,128	6	5,08	5,15	5,106
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
11	4,95	5,10	5,026	16	4,91	5,04	4,979	18	5,11	5,24	5,149	18	5,08	5 21	5,123
prise rapide.															
12	5,08	5,22	5,142	12	5,00	5,12	5,053	12	5,17	5,26	5,205	12	5,09	5,18	5,139
12	5,12	5,21	5,165	12	5,02	5,16	5,073	12	5,08	5,27	5,168	12	5,03	5,20	5,097
24	5,08	5,22	5,153	24	5,00	5,16	5,063	24	5,08	5,27	5,186	24	5,03	5,20	5,118
hydrauliques.															
5	5,06	5,14	5,082	11	4,97	5,12	5,024	23	5,07	5,21	5,152	23	5,07	5,18	5,125
"	"	"	"	"	"	"	"	6	5,10	5,15	5,138	6	5,07	5,11	5,095
6	5,07	5,24	5,150	6	5,02	5,07	5,046	6	5,15	5,23	5,186	6	5,08	5,15	5,110
5	5,07	5,16	5,125	5	5,02	5,07	5,048	5	5.28	5,31	5,294	5	5,20	5,24	5,222
18	5,09	5,24	5,160	18	4,95	5,10	5,045	12	5,18	5,30	5,262	12	5,10	5,26	5,185
34	0,06	5,06	5,127	40	4,95	5,12	5,041	52	5,07	5,31	5,206	52	5,07	5,26	5,147
156	4,95	5,24	5,102	191	4,91	5,16	5,031	188	5,07	5,36	5,180	214	5,03	5,28	5,130

On voit que, pour les ciments portlands naturels ou artificiels conservés à l'air humide, la section des briquettes de pâte de ciment pur varie assez peu; elle est généralement supérieure à 5 centimètres carrés; elle n'est tombée au-dessous de 5 centimètres carrés que pour un ciment qui a manifesté une contraction sensible dans les moules. Les briquettes de mortier sableux conservées à l'air humide donnent une section un peu plus forte; cela tient à un léger surcroît de l'épaisseur des briquettes résultant de la difficulté d'arasement après moulage, difficulté plus grande pour les briquettes de mortier que pour les briquettes de pâte de ciment.

Si l'on tient compte du dépôt de tartre qui se produit sur les briquettes de pâte de ciment portland conservées dans l'eau, on arrive à trouver pour toutes ces briquettes des sections supérieures à 5 centimètres carrés avec des maxima de 5 cm². 23 ou 5 cm². 24, soit une majoration de 4 à 5 p. 100; nous devons d'ailleurs rappeler que dans les conditions où les briquettes ont été jusqu'à présent conservées dans l'eau au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, il ne peut se produire de dépôt de tartre sur les faces latérales des briquettes, ce qui augmenterait la sur-section dans une notable proportion. Si l'on enlève le dépôt de tartre peu adhérent au pourtour des briquettes, on obtient des sections qui s'éloignent moins de 5 centimètres carrés : on n'a guère au maximum que 2 p. 100 en plus. Les briquettes de mortier sableux conservées dans l'eau, mesurées avec tartre ou sans tartre, ont toujours une section plus forte que les briquettes de pâtes pures; cela tient, comme nous l'avons déjà dit plus haut, à la difficulté plus grande d'araser les briquettes de mortier, d'où une surépaisseur de ces briquettes; on a constaté des sections maxima de 5 cm². 36 avec tartre et de 5 cm². 28 sans tartre, différence de 7 p. 100 et 6 p. 100.

On constate des faits analogues pour les autres produits; sauf exceptions très rares expliquées par le retrait des pâtes pures, les sections mesurées sont supérieures à 5 centimètres carrés de quantités variables, mais généralement assez faibles.

RÉSUMÉ.

Les expériences faites ont montré tout d'abord qu'il y avait intérêt à vérifier soigneusement les moules dont on se sert pour la confection des briquettes d'essai à la traction, certains moules pouvant, soit par défaut de construction, soit par usure, donner des briquettes dont la section rétrécie dépasse assez notablement 5 centimètres carrés.

Il est plus difficile qu'on ne peut le croire *à priori* de mesurer la section rétrécie des briquettes pour essais à la traction. Pour mesurer la largeur de ces briquettes, il faut employer un pied à coulisse spécial dont les branches à arêtes vives, ou arrondies à très faible rayon, puissent pénétrer dans le creux des briquettes; l'emploi de ce pied à coulisse présente quelques inconvénients. Cet instrument ne peut d'ailleurs servir pour le mesurage de l'épaisseur des briquettes, car il donne seulement l'épaisseur maximum qui peut être très exagérée, notamment dans les briquettes de mortier, par la présence d'un grain de sable faisant saillie; si l'on veut avoir avec une certaine approximation l'épaisseur moyenne des briquettes, il faut se servir d'un palmer et prendre l'épaisseur en trois points au moins; l'opération est longue et délicate.

Il convient d'observer que les briquettes immergées à l'eau douce et à l'eau de mer se recouvrent à la longue d'une couche plus ou moins épaisse de tartre plus ou moins adhérent à la briquette; les mesures faites sur des briquettes non dépouillées de leur tartre donnent naturellement une section plus grande que la section initiale, mais ce serait une erreur que de compter pour la résistance à la traction les sections totales ainsi obtenues; si l'on enlève le tartre qui recouvre les briquettes, ce qu'on a fait dans les mesurages exécutés au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, on voit que les sections diffèrent peu de 5 centimètres carrés.

La manière dont les mesurages ont été faits dans les différents laboratoires devait forcément donner des chiffres supérieurs à la réalité, puisqu'on cherchait à déterminer la section de la briquette en mesurant son contour apparent; les chiffres trouvés ne s'écartent pas d'ailleurs suffisamment du chiffre normal de 5 centimètres carrés, pour qu'il y ait lieu à correction.

CONCLUSIONS.

Si l'on a soin de vérifier les moules à briquettes employés, de s'assurer périodiquement qu'ils donnent bien des briquettes ayant une section initiale de 5 centimètres carrés (avec une tolérance en plus ou en moins de 1 p. 100), il est inutile de mesurer les briquettes soit avant, soit après leur rupture.

Il suffira de noter — à un autre point de vue — l'état des briquettes, si elles se sont recouvertes plus ou moins abondamment de tartre, si elles présentent des traces d'altération.

Paris, le 30 juin 1892.

P. DEBRAY.

MESURAGES DES BRIQUETTES

FAITS AU LABORATOIRE DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
1° CIMENTS PORTLANDS NATURELS ET ARTIFICIELS.															
28 jours.															
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						N'a pas été mesurée.	22,68	22,48	"	5,10	N'a pas été mesurée.	22,59	22,65	"	5,12
							22,53	22,34	"	5,03		22,50	23,00	"	5,18
							22,60	22,39	"	5,06		22,60	22,63	"	5,11
							22,68	22,34	"	5,07		22,51	22,60	"	5,09
							22,51	22,33	"	5,03		22,59	22,74	"	5,14
							22,60	22,26	"	5,03		22,53	23,00	"	5,18
										5,053					5,137
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						22,80	22,58	22,37	10	5,05	22,58	22,49	22,77	5,14	5,12
						22,80	22,60	22,35	5,09	5,05	22,60	22,52	22,75	5,14	5,12
						22,80	22,50	22,43	5,11	5,05	22,68	22,55	22,73	5,16	5,13
						22,72	22,54	22,36	5,08	5,04	22,80	22,58	22,77	5,19	5,14
						22,70	22,52	22,42	5,09	5,05	22,60	22,49	22,58	5,10	5,08
						22,70	22,50	22,44	5,10	5,05	22,70	22,48	22,88	5,19	5,14
									5,095	5,048				5,153	5,122
22,63	22,35	5,06	22,58	22,70	5,13	"	22,58	22,39	"	5,06	22,70	22,50	22,55	5,12	5,08
22,59	22,38	5,06	22,65	22,85	5,18	22,70	22,60	22,38	5,08	5,06	22,70	22,50	22,60	5,13	5,09
22,60	22,39	5,06	22,58	22,60	5,10	22,72	22,53	22,32	5,07	5,03	22,80	22,62	22,70	5,18	5,13
22,65	22,40	5,07	22,48	23,10	5,19	22,62	22,57	22,35	5,06	5,04	22,80	22,53	22,65	5,16	5,10
22,55	22,34	5,04	22,46	22,78	5,12	22,65	22,60	22,40	5,07	5,06	22,80	22,58	22,70	5,18	5,13
22,63	22,48	5,09	22,62	22,79	5,16	22,70	22,58	22,42	5,09	5,06	22,80	22,50	23,10	5,27	5,20
		5,063			5,147				5,074	5,052				5,173	5,122
(*) 22,49	22,24	5,00	22,54	23,20	5,23	22,65	(*) 22,42	22,19	5,03	4,97	22,60	22,48	22,75	5,14	5,11
22,58	22,30	5,04	22,52	23,10	5,20	22,60	22,38	22,50	5,08	5,04	22,65	22,50	22,72	5,15	5,11
22,55	22,27	5,02	22,49	22,76	5,12	22,75	22,50	22,45	5,11	5,05	22,55	22,49	22,87	5,16	5,14
22,50	22,38	5,04	22,50	23,15	5,21	22,70	22,50	22,30	5,06	5,02	22,70	22,50	22,95	5,21	5,16
22,50	22,09	4,97	22,52	22,92	5,16	22,80	22,48	22,27	5,08	5,01	22,65	22,50	22,98	5,20	5,17
22,48	22,22	5,00	22,50	23,00	5,18	22,70	22,46	22,23	5,05	4,99	22,90	22,68	23,18	5,31	5,28
		5,011			5,183				5,068	5,013				5,195	5,162

(*) Contraction dans les moules.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
									84 jours.						
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						N'a pas été mesurée.	22,50	22,20	"	5,00	N'a pas été mesurée.	22,50	22,76	"	5,12
							22,50	22,29	"	5,02		22,51	22,76	"	5,14
							22,50	22,38	"	5,04		22,49	22,75	"	5,12
							22,50	22,37	"	5,03		22,50	22,70	"	5,11
							22,50	22,25	"	5,01		22,52	22,80	"	5,13
							22,50	22,44	"	5,05		22,50	22,74	"	5,12
									"	5,025				"	5,123
22,62	22,50	5,09	22,52	23,00	5,18	23,00	22,59	22,50	5,17	5,08	22,68	22,59	22,52	5,11	5,09
22,50	22,35	5,03	22,59	22,94	5,18	22,80	22,50	22,44	5,12	5,05	22,60	22,49	22,59	5,11	5,08
22,59	22,46	5,07	22,60	22,80	5,15	22,80	22,50	22,53	5,13	5,07	22,68	22,59	22,65	5,14	5,12
22,64	22,45	5,08	22,48	22,81	5,13	22,80	22,58	22,58	5,15	5,10	22,80	22,52	22,60	5,15	5,09
22,52	22,40	5,04	22,48	23,05	5,18	22,90	22,56	22,40	5,13	5,05	22,70	22,50	22,50	5,11	5,06
La série ne comprenait que 5 briquettes.			22,50	22,75	5,12	La série ne comprenait que 5 briquettes.					22,85	22,50	22,70	5,19	5,11
		5,062			5,157				5,140	5,070				5,135	5,092
22,50	22,55	5,08	22,42	22,66	5,08	22,90	22,54	22,45	5,14	5,06	22,70	22,50	22,55	5,12	5,08
22,50	22,34	5,03	22,50	23,00	5,18	22,90	22,50	22,45	5,14	5,05	22,70	22,50	22,60	5,13	5,09
22,60	22,52	5,09	22,51	22,40	5,04	23,00	22,50	22,50	5,18	5,06	22,80	22,62	22,70	5,18	5,13
22,62	22,26	5,04	22,70	22,75	5,16	22,90	22,52	22,62	5,18	5,09	22,80	22,53	22,65	5,16	5,10
22,54	22,44	5,06	22,62	22,50	5,09	23,10	22,53	22,44	5,18	5,06	22,80	22,58	22,70	5,18	5,13
22,53	22,49	5,07	22,50	22,60	5,09	22,90	22,48	22,33	5,11	5,02	22,80	22,50	23,10	5,27	5,20
		5,062			5,107				5,155	5,056				5,173	5,121
									6 mois.						
22,50	22,34	5,03	22,60	22,62	5,11	22,80	22,50	22,20	5,06	5,00	22,80	22,55	22,80	5,20	5,03
22,50	22,37	5,03	22,54	22,48	5,07	22,80	22,55	22,32	5,09	5,03	22,70	22,59	22,65	5,14	5,12
22,51	22,37	5,04	22,60	22,52	5,09	22,80	22,53	22,10	5,04	4,98	22,75	22,62	22,43	5,10	5,07
22,52	22,40	5,04	22,59	22,45	5,07	22,68	22,50	22,34	5,07	5,03	22,77	22,54	22,80	5,19	5,14
22,53	22,26	5,02	22,51	22,50	5,06	22,85	22,53	22,30	5,10	5,02	22,68	22,50	22,82	5,18	5,13
22,57	22,34	5,04	22,58	22,56	5,09	22,80	22,50	22,33	5,09	5,02	22,80	22,63	22,45	5,12	5,08
		5,033			5,082				5,075	5,013				5,155	5,095
22,60	22,45	5,07	22,52	22,95	5,17	22,80	22,50	22,35	5,10	5,03	22,80	22,60	23,00	5,24	5,20
22,50	22,35	5,03	22,60	22,85	5,16	23,00	22,57	22,58	5,19	5,10	22,75	22,58	23,10	5,26	5,22
22,62	22,41	5,07	22,58	23,00	5,19	22,80	22,53	22,40	5,11	5,05	22,70	22,55	22,82	5,18	5,15
22,60	22,50	5,09	22,68	22,75	5,16	22,85	22,50	22,50	5,14	5,06	22,62	22,48	23,26	5,26	5,23
22,50	22,35	5,03	22,60	23,00	5,20	22,90	22,52	22,50	5,15	5,08	22,70	22,50	23,05	5,21	5,19
22,54	22,42	5,05	22,55	23,00	5,19	22,70	22,50	22,38	5,08	5,04	22,68	22,48	23,10	5,24	5,19
		5,057			5,178				5,128	5,060				5,232	5,197

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
								1 an.							
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						N'a pas été mesurée.	22,66	22,45	"	5,09	N'a pas été mesurée.	22,59	22,49	"	5,08
							22,55	22,25	"	5,02		22,70	22,80	"	5,18
							22,62	22,28	"	5,04		22,60	22,67	"	5,12
							22,59	22,50	"	5,08		22,60	22,72	"	5,13
							22,60	22,50	"	5,09		22,58	22,90	"	5,17
							22,59	22,65	"	5,12		22,61	22,69	"	5,13
									"	5,073				"	5,134
			22,52	22,61	5,09						N'a pas été mesurée.				
			22,58	22,64	5,11							22,59	22,75	"	5,14
			22,62	22,75	5,15							22,60	22,56	"	5,10
			22,55	22,63	5,10							22,52	22,62	"	5,09
			22,51	22,63	5,09							22,58	22,70	"	5,13
22,68	22,30	5,06	22,55	22,42	5,06	22,95	22,48	22,40	5,14	5,04		22,60	22,80	"	5,15
22,60	22,29	5,04	22,51	22,75	5,12	22,90	22,52	22,38	5,12	5,04		22,50	22,63	"	5,09
22,50	22,44	5,05				22,80	22,51	22,30	5,08	5,02		22,53	22,87	"	5,15
22,51	22,36	5,03			5,103	23,00	22,49	22,32	5,13	5,02		22,52	22,79	"	5,13
22,57	22,35	5,04				23,00	22,53	22,28	5,12	5,02				"	5,123
22,59	22,30	5,04	22,50	22,65	5,10	23,10	22,53	22,08	5,10	4,97					
			22,48	22,48	5,05										
		5,043	22,54	22,62	5,10				5,115	5,018	22,80	22,53	22,78	5,19	5,13
			22,49	22,80	5,13						22,85	22,49	22,95	5,24	5,16
			22,58	22,43	5,06						22,70	22,50	22,80	5,18	5,13
			22,55	22,80	5,14						22,65	22,49	22,80	5,16	5,13
					5,097									5,193	5,138
22,59	22,33	5,04	22,65	22,45	5,08	23,20	22,50	22,56	5,23	5,08	22,70	22,49	22,53	5,11	5,07
22,48	22,39	5,03	22,58	22,50	5,08	22,85	22,52	22,44	5,13	5,05	22,85	22,50	22,70	5,19	5,11
22,60	22,55	5,10	22,56	22,70	5,12	22,80	22,48	22,46	5,12	5,05	23,00	22,50	22,80	5,24	5,1
22,68	22,40	5,08	22,58	22,59	5,10	22,90	22,53	22,50	5,15	5,07	23,10	22,49	22,87	5,28	5,14
22,60	22,40	5,06	22,53	22,64	5,10	22,80	22,50	22,43	5,11	5,05	23,20	22,49	22,46	5,21	5,05
22,62	22,60	5,11	22,48	22,75	5,11	22,80	22,50	22,45	5,12	5,05	22,90	22,50	22,60	5,18	5,09
		5,070			5,098				5,143	5,058				5,202	5,098

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
2 ans.															
22,60	22,90	5,18	22,68	22,30	5,06	23,00	22,55	22,40	5,15	5,05	22,80	22,60	22,74	5,18	5,14
22,49	22,80	5,13	22,60	22,29	5,04	22,80	22,50	22,44	5,12	5,05	22,87	22,65	22,88	5,23	5,18
22,52	22,62	5,10	22,50	22,44	5,05	22,90	22,50	22,34	5,12	5,03	22,80	22,52	22,82	5,20	5,14
22,55	22,95	5,18	22,51	22,36	5,03	22,85	22,50	22,24	5,08	5,00	22,68	22,53	22,63	5,13	5,10
22,50	22,42	5,04	22,57	22,35	5,04	23,00	22,58	22,30	5,13	5,04	22,84	22,50	23,20	5,30	5,22
22,48	22,90	5,15	22,59	22,30	5,04	22,90	22,60	22,50	5,15	5,08	22,85	22,50	23,25	5,31	5,23
		5,130			5,043				5,125	5,042				5,225	5,168
22,52	22,40	5,04	22,55	23,10	5,21	23,10	22,49	22,10	5,11	4,97	23,20	22,65	22,60	5,24	5,12
22,48	22,52	5,06	22,52	23,05	5,19	22,80	22,50	22,48	5,13	5,06	23,00	22,50	23,15	5,32	5,21
22,53	22,43	5,04	22,50	23,15	5,21	23,10	22,50	22,50	5,20	5,06	22,75	22,48	23,15	5,21	5,20
22,52	22,65	5,10	22,54	22,92	5,17	23,20	22,52	22,58	5,24	5,09	22,80	22,52	23,00	5,24	5,18
22,50	22,54	5,07	22,60	22,84	5,16	23,20	22,50	22,58	5,24	5,08	23,20	22,49	23,10	5,36	5,20
22,54	22,49	5,07	22,58	22,82	5,15	22,95	22,49	22,47	5,16	5,05	22,85	22,50	23,25	5,31	5,23
		5,063			5,182				5,180	5,052				5,280	5,190
2° CIMENTS MIXTES.															
6 mois.															
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						N'a pas été mesurée.	22,52	22,34	"	5,03	22,78	22,50	22,74	5,18	5,12
							22,50	22,35	"	5,03	22,70	22,52	22,72	5,16	5,11
							22,50	22,34	"	5,03	22,80	22,55	22,79	5,20	5,14
							22,51	22,45	"	5,05	22,65	22,48	22,66	5,13	5,09
							22,50	22,35	"	5,03	22,70	22,50	22,77	5,17	5,12
							22,49	22,19	"	4,99	22,80	22,50	22,78	5,19	5,13
										5,027				5,172	5,118
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						22,87	22,50	22,30	5,10	5,02	22,65	22,53	22,73	5,15	5,12
						22,88	22,60	22,32	5,11	5,04	22,70	22,58	22,52	5,11	5,09
						22,98	22,53	22,54	5,18	5,08	22,90	22,70	22,66	5,19	5,14
						22,93	22,50	22,35	5,12	5,03	22,90	22,62	22,65	5,19	5,12
						22,90	22,50	22,39	5,12	5,03	22,60	22,50	22,75	5,14	5,12
						22,92	22,50	22,20	5,09	5,00	22,60	22,48	22,60	5,11	5,08
									5,120	5,067				5,148	5,112

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².

3° CIMENTS DE LAITIER.

6 mois.

						22,70	22,46	22,18	5,03	4,98	22,68	22,50	22,64	5,13	5,09
						22,80	22,43	22,18	5,06	4,97	22,68	22,50	22,62	5,13	5,09
						22,60	22,30	22,16	5,00	4,94	22,90	22,53	22,70	5,20	5,11
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						22,65	22,35	22,25	5,04	4,97	22,60	22,58	22,66	5,12	5,12
						22,70	22,38	22,15	5,03	4,96	22,55	22,48	22,60	5,10	5,08
						22,70	22,38	22,24	5,05	4,98	22,70	22,55	22,70	5,15	5,12
									5,035	4,967				5,138	5,102

1 an.

						22,65	22,50	22,29	5,05	5,02	22,70	22,55	22,72	5,16	5,12
						22,51	22,47	22,25	5,01	5,00	22,65	22,50	22,60	5,12	5,09
						22,50	22,46	22,28	5,01	5,00	23,00	22,53	22,70	5,22	5,11
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						22,65	22,48	22,29	5,05	5,01	23,10	22,49	22,54	5,21	5 07
						Pour cause d'insuffisance de ciment, la série ne comprenait que 4 briquettes.					22,85	22,48	22,72	5,19	5,11
											22,85	22,50	22,80	5,21	5,13
									5,030	5,008				5,185	5,105

2 ans.

						22,90	22,58	22,50	5,15	5,08	22,65	22,59	23,12	5,24	5,22
						22,90	22,55	22,42	5,13	5,06	22,90	22,50	22,85	5,23	5,14
						22,90	22,50	22,25	5,10	5,01	22,65	22,60	23,18	5,25	5,24
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						22,95	22,65	22,40	5,14	5,07	22,60	22,53	23,07	5,21	5,20
						23,00	22,68	22,29	5,13	5,06	22,80	22,50	23,04	5,25	5,18
						22,80	22,60	22,54	5,14	5,09	22,60	22,50	23,15	5,23	5,21
									5,132	5,062				5,235	5,198

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².

4° CIMENTS DE GRAPPIERS.

84 jours.

(*) 22,28	22,05	4,91	22,53	22,90	5,16		(*) 22,29	22,35	"	4,98	22,80	22,52	22,75	5,19	5,13
22,20	22,28	4,95	22,50	22,82	5,13	N'a pas été mesurée.	22,35	22,18	"	4,96	22,75	22,49	22,85	5,20	5,14
22,18	22,08	4,90	22,50	22,75	5,12		22,32	22,10	"	4,93	22,63	22,49	22,80	5,16	5,13
22,29	22,15	4,94	22,50	22,80	5,13		22,35	22,10	"	4,94	22,80	22,58	23,00	5,24	5,19
La série ne comprenait que 4 briquettes.			22,49	22,72	5,11		22,30	22,10	"	4,93	22,70	22,50	22,82	5,18	5,13
			22,50	22,80	5,12	La série ne comprenait que 5 briquettes.					22,50	22,45	23,20	5,22	5,21
		4,925			5,131					4,948				5,198	5,155
(*) 22,40	22,27	4,99	22,50	22,46	5,05	(*) 22,50	22,32	22,18	4,99	4,95	22,60	22,48	22,80	5,15	5,13
22,38	22,20	4,97	22,48	22,86	5,14	22,50	22,38	22,28	5,01	4,99	22,60	22,50	23,00	5,20	5,18
22,30	22,34	4,98	22,50	22,82	5,13	22,49	22,30	22,00	4,95	4,91	22,55	22,48	22,65	5,11	5,09
22,30	22,28	4,97	22,53	22,75	5,13	22,52	22,30	22,25	5,01	4,96	22,60	22,50	22,65	5,12	5,10
22,30	22,17	4,94	22,48	22,60	5,08	22,35	22,28	22,40	5,00	4,99	22,60	22,50	22,80	5,15	5,13
La série ne comprenait que 5 briquettes.			22,50	22,78	5,12	La série ne comprenait que 5 briquettes.					22,50	22,50	22,78	5,13	5,13
		4,970			5,108				4,992	4,960				5,143	5,126

6 mois.

						22,80	22,50	22,18	5,06	4,99	22,70	22,58	22,50	5,11	5,08
						22,65	22,43	22,35	5,06	5,01	22,60	22,50	22,70	5,13	5,11
						22,70	22,45	22,45	5,10	5,04	22,60	22,50	22,60	5,11	5,09
Ce ciment n'a pas été essayé à l'air.						22,80	22,50	22,20	5,06	5,00	22,65	22,55	22,54	5,11	5,08
						22,80	22,50	22,30	5,08	5,02	22,50	22,50	22,80	5,13	5,13
						22,80	22,53	22,05	5,03	4,97	22,60	22,50	22,90	5,18	5,15
									5,061	5,005				5,128	5,106

(*) Contraction dans les moules.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
2 ans.															
"	"	"	22,50	22,51	5,06	Les briquettes conservées dans l'eau n'existaient plus au moment du mesurage de celles conservées à l'air; elles avaient été soumises aux essais.									
"	"	"	22,58	22,77	5,14										
"	"	"	22,50	22,60	5,09										
"	"	"	22,52	22,90	5,16										
"	"	"	22,50	22,54	5,07										
"	"	"	22,60	22,65	5,12										
					5,107										
"	"	"	22,58	22,50	5,14	Les briquettes conservées dans l'eau n'existaient plus au moment du mesurage de celles conservées à l'air; elles avaient été soumises aux essais.									
"	"	"	22,58	22,85	5,16										
"	"	"	22,56	22,69	5,12										
"	"	"	22,58	22,39	5,06										
"	"	"	22,55	22,73	5,13										
"	"	"	22,52	22,55	5,08										
					5,105										

5° CIMENTS À PRISE RAPIDE.

1 an.

22,55	22,30	(*) 5,03	22,58	22,75	5,14	22,90	22,58	22,40	5,13	5,06	22,80	22,68	22,78	5,19	5,17
22,65	22,45	5,08	22,49	23,00	5,17	22,90	22,52	22,58	5,17	5,09	22,90	22,65	22,86	5,23	5,18
22,60	22,45	5,07	22,50	22,70	5,11	23,05	22,62	22,55	5,20	5,10	22,92	22,52	22,60	5,18	5,09
22,68	22,47	5,10	22,60	22,65	5,12	23,00	22,57	22,70	5,22	5,12	23,03	22,55	22,82	5,25	5,15
22,52	22,48	5,06	22,51	22,75	5,12	22,98	22,52	22,45	5,16	5,06	22,88	22,50	23,00	5,26	5,18
22,68	22,60	5,13	22,54	22,80	5,14	23,10	22,59	22,40	5,17	5,06	22,80	22,52	22,74	5,18	5,12
		5,078			5,133				5,175	5,082				5,215	5,148

(*) Briquettes craquelées au pourtour.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
						1 an. (Suite.)									
22,62	22,45	(*) 5,08	22,65	23,00	5,21	22,80	22,48	22,30	5,08	5,01	22,85	22,60	22,75	5,20	5,14
22,55	22,28	5,02	22,59	22,65	5,12	22,90	22,46	22,40	5,13	5,03	22,86	22,58	22,85	5,22	5,16
22,65	22,28	5,05	22,65	22,50	5,10	22,92	22,50	22,48	5,15	5,06	22,80	22,59	22,69	5,17	5,13
22,80	22,45	5,12	22,58	22,70	5,13	22,90	22,52	22,38	5,13	5,04	22,85	22,60	22,80	5,21	5,15
22,90	22,47	5,15	22,68	22,68	5,14	22,85	22,49	22,27	5,09	5,01	22,90	22,49	22,69	5,20	5,10
22,82	22,55	5,15	22,58	22,85	5,16	22,87	22,48	22,20	5,08	5,00	22,80	22,50	22,67	5,17	5,10
		5,095			5,143				5,110	5,025				5,195	5,130
						ans.									
22,51	22,44	(**) 5,05	22,65	22,20	5,03	22,90	22,48	22,65	5,19	5,09	22,80	22,50	22,35	5,10	5,03
22,70	22,42	5,09	22,60	22,30	5,04	22,90	22,49	22,53	5,16	5,07	22,70	22,50	22,40	5,08	5,04
22,58	22,60	5,10	22,58	22,55	5,09	23,02	22,50	22,54	5,17	5,07	22,90	22,58	22,48	5,15	5,08
22,70	22,60	5,13	22,53	22,44	5,08	22,98	22,60	22,35	5,14	5,05	22,98	22,61	22,45	5,16	5,08
22,57	22,50	5,08	22,64	22,46	5,08	22,90	22,46	22,37	5,12	5,02	22,90	22,52	22,65	5,19	5,10
22,65	22,55	5,11	22,67	22,70	5,15	22,92	22,50	22,40	5,13	5,04	23,00	22,50	22,40	5,15	5,04
		5,093			5,078				5,152	5,057				5,138	5,062
22,58	22,43	5,06	22,57	22,73	5,13	22,84	22,64	22,79	5,21	5,16	22,84	22,62	22,72	5,19	5,14
22,53	22,70	5,11	22,51	22,60	5,09	22,91	22,49	22,55	5,17	5,07	22,80	22,59	23,00	5,24	5,20
22,50	22,48	5,06	22,50	22,48	5,06	22,92	22,50	22,54	5,17	5,07	22,70	22,49	22,71	5,16	5,11
22,53	22,78	5,16	22,51	22,90	5,15	22,98	22,53	22,60	5,19	5,09	22,78	22,50	22,85	5,21	5,14
22,48	22,63	5,09	22,49	22,89	5,15	22,90	22,50	22,32	5,11	5,02	22,70	22,48	22,70	5,15	5,10
La série ne comprenait que 5 briquettes.			22,50	22,68	5,10	22,92	22,58	22,72	5,21	5,13	22,80	22,49	23,00	5,24	5,17
		5,096			5,113				5,177	5,090				5,198	5,133

(*) Briquettes très craquelées au pourtour.

(**) Briquettes craquelées au pourtour.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
6° CHAUX HYDRAULIQUES.															
28 jours.															
22,49	22,59	5,08	22,60	22,65	5,12	Cette chaux pure s'est désagrégée dans l'eau.					22,65	22,50	22,90	5,19	5,15
22,48	23,00	5,17	22,58	22,67	5,12						22,70	22,50	22,90	5,20	5,15
22,41	22,60	5,06	22,60	22,17	5,01						22,70	22,58	22,95	5,21	5,18
22,38	22,78	5,10	22,60	22,90	5,18						22,65	22,48	22,65	5,13	5,09
22,42	22,65	5,12	22,51	22,28	5,02						22,60	22,50	22,84	5,16	5,14
La série ne comprenait que 5 briquettes.			22,58	22,87	5,16						La série ne comprenait que 5 briquettes.				
		5,106			5,102									5,178	5,142
N'a pas été essayée à l'air.			22,58	22,78	5,14	N'a pas été mesurée.	(*) 22,48	22,10	"	4,97	22,62	22,48	22,55	5,10	5,07
			22,49	22,82	5,13		22,48	22,20	"	4,99	22,60	22,50	22,68	5,13	5,10
			22,52	22,74	5,12		22,40	22,30	"	5,00	22,65	22,52	22,80	5,16	5,13
			22,50	22,76	5,12		22,49	22,30	"	5,02	23,00	22,48	22,65	5,21	5,09
			22,48	22,80	5,13		22,40	22,32	"	5,00	22,60	22,49	22,90	5,18	5,15
			22,52	22,84	5,14	La série ne comprenait que 5 briquettes.					22,70	22,50	22,80	5,18	5,13
					5,130				"	4,996				5,160	5,112
22,60	22,25	5,03	22,55	22,80	5,14	Non mesurée.	22,60	22,30	"	5,04	22,52	22,48	22,88	5,15	5,14
22,58	22,35	5,05	22,48	22,92	5,15	22,70	22,59	22,65	5,14	5,12	22,50	22,49	22,54	5,07	5,07
22,59	22,27	5,03	22,48	22,90	5,15	22,60	22,54	22,39	5,06	5,05	22,60	22,50	22,70	5,13	5,11
22,60	22,25	5,03	22,53	22,90	5,16	22,65	22,53	22,32	5,06	5,03	22,60	22,50	22,70	5,13	5,11
22,52	22,22	5,00	22,48	22,85	5,14	22,70	22,52	22,32	5,07	5,03	22,50	22,47	23,00	5,18	5,17
22,62	22,40	5,07	22,61	22,55	5,10	22,68	22,50	22,40	5,08	5,04	22,55	22,48	22,75	5,13	5,11
		5,035			5,140				5,082	5,052				5,132	5,118
Cette chaux n'a pas été essayée à l'air.						Cette chaux pure s'est désagrégée dans l'eau.					22,60	22,50	22,85	5,16	5,14
											22,48	22,48	22,90	5,15	5,15
											22,50	22,49	22,86	5,14	5,14
											22,48	22,48	22,60	5,08	5,08
											22,52	22,50	22,80	5,13	5,13
											22,65	22,50	22,85	5,18	5,14
														5,140	5,130

(*) Contraction dans les moules.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
84 jours.															
(*) 22,40	22,40	5,02	22,60	22,68	5,13	Cette chaux pure s'est désagrégée dans l'eau.					22,65	22,48	22,70	5,14	5,10
22,42	22,40	5,02	22,59	22,95	5,18						22,65	22,45	22,72	5,15	5,10
22,48	22,32	5,02	22,58	22,67	5,12						22,70	22,49	22,58	5,13	5,08
22,43	22,40	5,02	22,58	22,80	5,15						22,70	22,50	22,70	5,15	5,11
22,38	22,40	5,01	22,55	22,90	5,16						22,75	22,53	22,68	5,16	5,11
22,43	22,20	4,98	La série ne comprenait que 5 briquettes.								22,62	22,50	22,55	5,10	5,07
		5,012			5,148									5,138	5,095
6 mois.															
Cette chaux n'a pas été essayée à l'air.						22,90	22,53	22,40	5,13	5,05	22,80	22,48	22,65	5,16	5,09
						23,00	22,58	22,30	5,13	5,04	23,00	22,65	22,75	5,23	5,15
						22,80	22,58	22,23	5,07	5,02	22,80	22,48	22,60	5,15	5,08
						23,40	22,49	22,39	5,24	5,04	22,80	22,50	22,65	5,16	5,10
						23,10	22,55	22,42	5,18	5,06	23,00	22,50	22,70	5,22	5,11
						23,00	22,62	22,40	5,15	5,07	22,80	22,50	22,80	5,20	5,13
									5,150	5,046				5,186	5,110
1 an.															
Cette chaux n'a pas été essayée à l'air.						22,90	22,58	22,29	5,10	5,03	22,85	22,53	23,10	5,28	5,20
						22,80	22,55	22,25	5,07	5,02	22,80	22,48	23,20	5,29	5,22
						23,00	22,58	22,45	5,16	5,07	22,80	22,50	23,30	5,31	5,24
						22,95	22,50	22,50	5,16	5,06	22,80	22,48	23,25	5,30	5,23
						22,80	22,50	22,50	5,13	5,06	22,85	22,52	23,15	5,29	5,22
						La série ne comprenait que 5 briquettes.					La série ne comprenait que 5 briquettes.				
									5,125	5,048				5,294	5,222

(*) Contraction dans les moules.

BRIQUETTES CONSERVÉES À L'AIR HUMIDE.						BRIQUETTES CONSERVÉES DANS L'EAU.									
BRIQUETTES DE PÂTE PURE.			BRIQUETTES DE MORTIER.			BRIQUETTES DE PÂTE PURE.					BRIQUETTES DE MORTIER.				
Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.		Section.	Dimensions des briquettes.			Section		Dimensions des briquettes.			Section	
Largeur.	Épaisseur.		Largeur.	Épaisseur.		Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.	Largeur avec tartre.	Largeur sans tartre.	Épaisseur.	avec tartre.	sans tartre.
mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².	mm.	mm.	mm.	cm².	cm².
						2 ans.									
Cette chaux n'a pas été essayée à l'air.						23,00	22,48	22,68	5,22	5,10	22,90	22,48	23,10	5,29	5,19
						22,97	22,47	22,55	51,8	5,07	22,92	22,48	23,25	5,33	5,23
						23,00	22,50	22,58	5,20	5,08	23,00	22,50	23,00	5,29	5,18
						22,90	22,45	22,48	5,15	5,05	22,90	22,53	22,98	5,26	5,18
						23,30	22,43	22,09	5,15	4,95	23,00	22,50	23,05	5,30	5,19
						23,20	22,43	22,59	5,24	5,07	22,87	22,49	23,10	5,28	5,20
									5,190	5,053				5,292	5,195
Cette chaux n'a pas été essayée à l'air.						23,00	22,54	22,54	5,18	5,08	22,80	22,51	23,02	5,25	5,18
						23,05	22,50	22,34	5,15	5,03	22,80	22,54	23,05	5,26	5,26
						22,95	22,48	22,30	5,12	5,01	22,70	22,48	22,87	5,19	5,14
						23,00	22,45	22,38	5,15	5,02	22,90	22,58	22,60	5,18	5,10
						23,20	22,42	22,44	5,21	5,03	22,80	22,50	22,85	5,21	5,14
						23,10	22,40	22,50	5,20	5,04	22,80	22,50	23,24	5,30	5,23
									5,168	5,035				5,232	5,175
Les briquettes de cette série n'existaient plus au moment du mesurage; elles avaient été soumises aux essais.			22,60	23,08	5,22	22,72	22,50	22,40	5,09	5,04	Les briquettes de cette série n'existaient plus au moment du mesurage; elles avaient été soumises aux essais.				
			22,48	22,95	5,16	22,78	22,48	22,40	5,10	5,04					
			22,55	23,04	5,20	22,85	22,48	22,40	5,12	5,04					
			22,49	22,87	5,14	22,80	22,45	22,40	5,11	5,03					
			22,50	22,75	5,12	22,85	22,48	22,50	5,14	5,06					
			22,51	22,80	5,13	22,88	22,49	22,60	5,17	5,08					
					5,162				5,122	5,048					

SUR

LA CONFECTION MÉCANIQUE

DES ÉPROUVETTES CYLINDRIQUES DE CIMENT

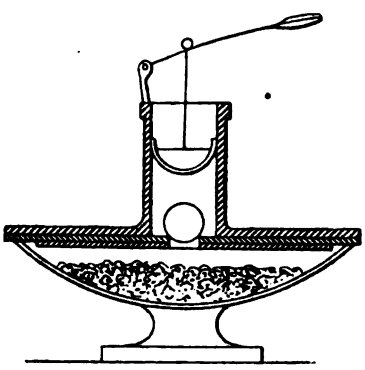
ET DE MORTIER DE CIMENT.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. BRÜLL.

Les éprouvettes destinées aux essais à la flexion, qui sont actuellement des prismes à base carrée, peuvent recevoir sans inconvénient une section circulaire. Peut-être réussira-t-on aussi à essayer à la traction et à la compression des éprouvettes cylindriques. Un cylindre de 25 millimètres de diamètre et de 150 à 200 millimètres de longueur pourrait ainsi servir à tous les essais de résistance.

Il semble donc intéressant de chercher dès à présent un moyen de préparer facilement des rondins de ce genre en pâte de ciment ou en mortier de ciment. La confection mécanique donnerait une constance et une homogénéité que n'atteindrait pas le moulage à la main. On peut se proposer aussi d'éviter, dans ces barrettes, la présence des bulles d'air qui faussent les épreuves dans une certaine mesure.



Pour enlever les bulles d'air qui restent emprisonnées dans les mortiers, on propose de faire le gâchage dans un bassin large et plat en fonte ou en bronze, d'une contenance d'un peu plus d'un litre. Le bord du vase est tourné. Après le gâchage, on recouvre le bassin d'un couvercle muni d'une feuille de caoutchouc faisant joint sur la tranche et présentant un orifice surmonté d'une pompe aspirante à air. En manœuvrant cette petite pompe on produira rapidement au-dessus de la couche mince de mortier une dépression qui en fera sortir les bulles d'air.

Le moulage en rondins peut se faire dans un tube ouvert aux deux bouts. Le frottement du mortier sur la paroi lisse du tube fournit une résistance qui croît avec la longueur qu'on donne au tube, de sorte que bien que la veine pâteuse ne rencontre à sa sortie aucune résistance, il faut la pousser à son entrée avec une certaine force. Cette force doit être constante si l'on veut que les éprouvettes soient toutes soumises à la même compression et sortent toujours avec la même compacité.

Or le coefficient de frottement du mortier sur la paroi du tube est variable d'un ciment à un autre, variable pour le même ciment avec le dosage du sable et avec la proportion d'eau de gâchage.

La longueur du tube de moulage doit donc être réglable : elle doit pouvoir s'ajuster à chaque

opération de façon que sous l'action de la pression constante appliquée à l'entrée du tube, la sortie du boudin se fasse avec une vitesse faible et uniforme.

On ne cherchera pas à donner aux éprouvettes une forte compression. Il semble qu'on dénaturerait ainsi les épreuves de résistance par une augmentation générale mais inégale des résultats. Il paraît suffire que le rondin ait à sa sortie une compacité suffisante pour pouvoir être reçu et enlevé sans déformation sensible. En recevant le boudin dans un tube de papier, on formera des cartouches d'un maniement facile.

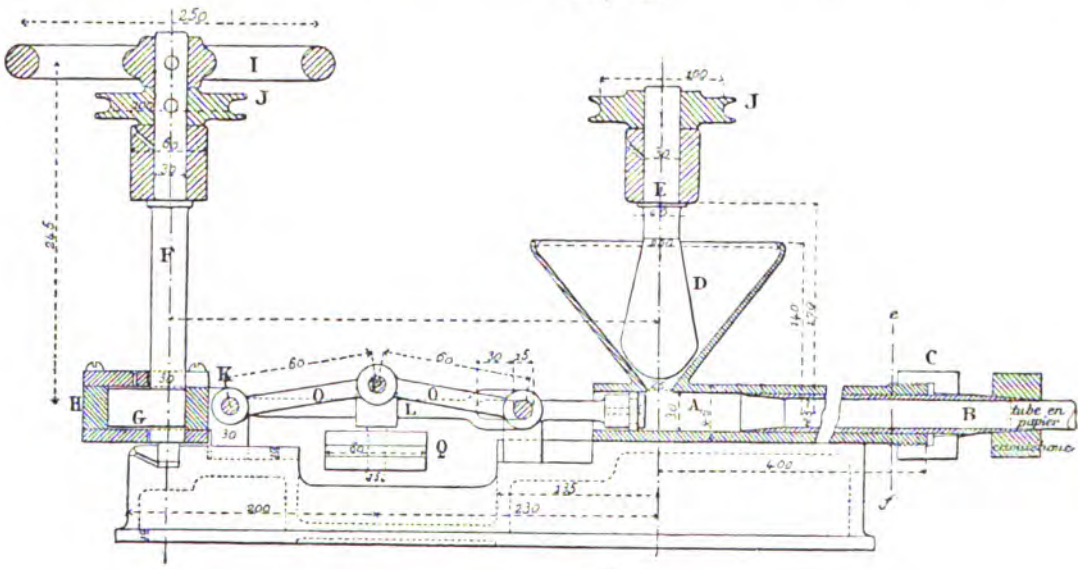
On peut reconnaître par quelques essais préalables qu'une pression de 2 à 5 kilogrammes convient pour les pâtes de ciment avec des longueurs de tube de 400 à 800 millimètres.

Les croquis annexés à la présente note représentent deux appareils différents dans lesquels on a cherché à réaliser les données de ce programme. L'un et l'autre opèrent sur un litre environ de pâte ou de mortier. Le premier agit par pression alternative et le second par pression continue.

APPAREIL À PRESSION ALTERNATIVE.

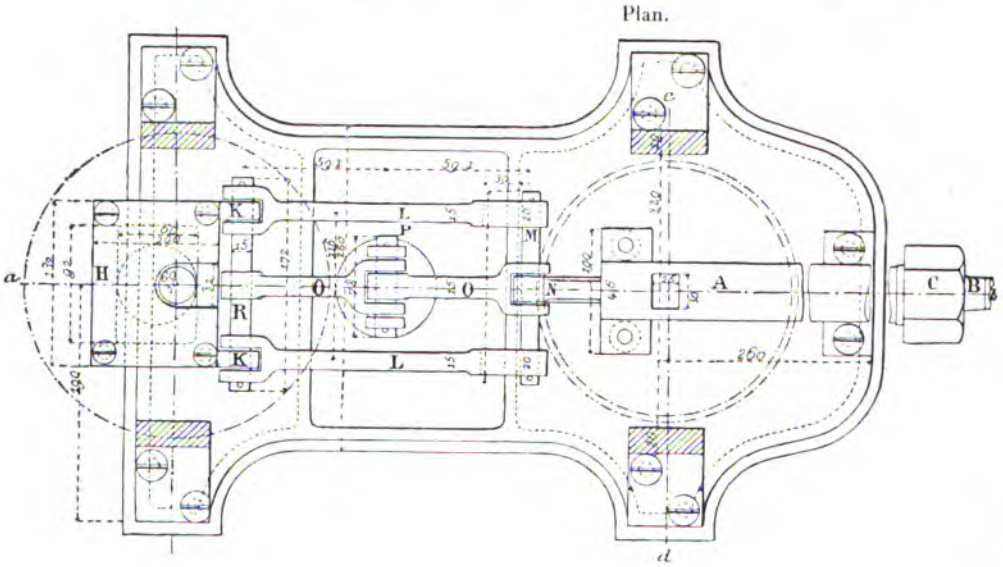
L'appareil se compose d'un socle en fonte sur lequel sont fixés, d'une part, le cylindre où se produit le moulage et, d'autre part, le mécanisme donnant la compression nécessaire pour la confection du cylindre de pâte.

Coupe *ab*.

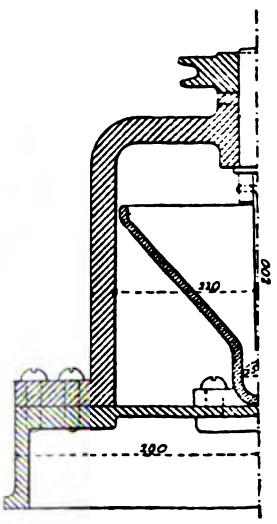


Coupe *ef*.

Plan.



Coupe *dc*.



Le tube de moulage doit pouvoir s'allonger et se raccourcir suivant la nature des ciments ou mortiers qu'il s'agit de mouler. La pression de moulage étant constante, c'est la longueur du tube qui doit varier avec la résistance au glissement qu'offre la pâte en travail. Pour permettre cette variation de longueur, le tube A est alésé au diamètre de 30 millimètres; il reçoit à frot-

tement doux un tube intérieur mobile B dont l'alésage est de 25 millimètres. L'extrémité du tube mobile tournée vers l'arrivée de la pâte est alésée en tronc de cône de façon à raccorder le diamètre de 30 millimètres à celui de 25 millimètres. Pour donner la longueur voulue au tube de moulage, on sort ou on rentre le tube mobile et on le fixe en place au moyen de l'écrou C. Cet écrou serre sur une bague fendue, mince et conique faite en caoutchouc ou en papier durci; l'adhérence de cette bague sur la surface du tube amovible est suffisante pour immobiliser ce tube.

Une trémie D reçoit la pâte de ciment ou le mortier gâché à la consistance normale et délivre ces matières au tube de moulage par un orifice rectangulaire de 25 millimètres sur 30 millimètres. Dans la trémie, tourne une spatule en hélice dont le sens et le pas sont tels que, par sa rotation, cette spatule pousse toujours la matière vers le tube. C'est l'expérience qui indiquera exactement quelle forme il faudra donner à cet organe. La spatule est emmanchée à sa partie supérieure dans une fente pratiquée au bas d'un axe vertical E; une goupille fixe la spatule qu'il est ainsi facile d'enlever lorsqu'il faut procéder au nettoyage de la trémie.

Les tubes, la trémie et la spatule seront en bronze ou en laiton.

Le mécanisme actionnant le piston de moulage comporte un arbre vertical F pourvu vers le bas d'un excentrique G tournant dans un cadre en bronze H et lui imprimant un mouvement rectiligne alternatif de 30 millimètres de course suivant l'axe du tube de moulage. L'excentrique est maintenu verticalement par deux plaques vissées sur le cadre.

Le mouvement de rotation est imprimé à l'arbre F au moyen d'un petit volant horizontal I mû à la main. Ce mouvement est transmis à l'arbre de la spatule par deux petites poulies J portant une cordelette.

Les deux arbres E et F sont guidés par des arcades verticales fixées sur le socle.

Le mouvement alternatif du cadre d'excentrique est transmis au piston de moulage à l'aide d'un jeu de barres et de bielles disposé de façon à pousser le piston dans le tube A avec un effort constant.

Deux oreilles K ménagées sur le cadre H reçoivent un axe horizontal R. Sur cet axe sont articulées deux barres L dont l'autre extrémité porte un œil allongé dans lequel s'engage l'axe M sur lequel est montée la tête du piston N. Les barres L n'ont d'autre but que de limiter la course de l'axe M dans les deux sens.

Deux petites bielles à fourche O transmettent à l'axe M le mouvement du cadre H. Ces deux bielles sont légèrement obliques et leur axe de jonction P est chargé d'un poids Q déterminé une fois pour toutes. Ce poids, dans la position dessinée, donne sur le piston un effort six fois plus grand. Si l'écoulement de la pâte offrait une résistance supérieure à l'effort exercé par le poids Q, la poussée de l'excentrique ferait relever l'axe P et raccourcir la distance des axes horizontaux M et R; l'axe M se meut alors dans l'œil oblong des barres L. La longueur du tube doit être raccourcie.

La tête du piston N et les deux oreilles K sont guidées par des glissières tracées dans le socle.

Le piston, en bronze, est muni d'une rondelle en caoutchouc durci serrée par un disque portant un épaulement qui empêche de serrer trop fort la rondelle de caoutchouc afin d'éviter de trop grands frottements du piston dans le tube A.

La trémie D, dont la contenance est d'un litre et un tiers, reçoit toute la quantité de pâte nécessaire pour la confection de 8 éprouvettes. Lorsque la longueur du tube est réglée pour la nature de pâte ou de mortier à mouler, on met l'appareil en marche. Comme le moulage ne devient normal que quand le piston pousse la pâte dans le cylindre plein sur toute sa longueur, la première longueur de boudin égale à celle du tube qui est produite doit être remise dans la trémie. Les éprouvettes qui sortent ensuite sont de confection normale.

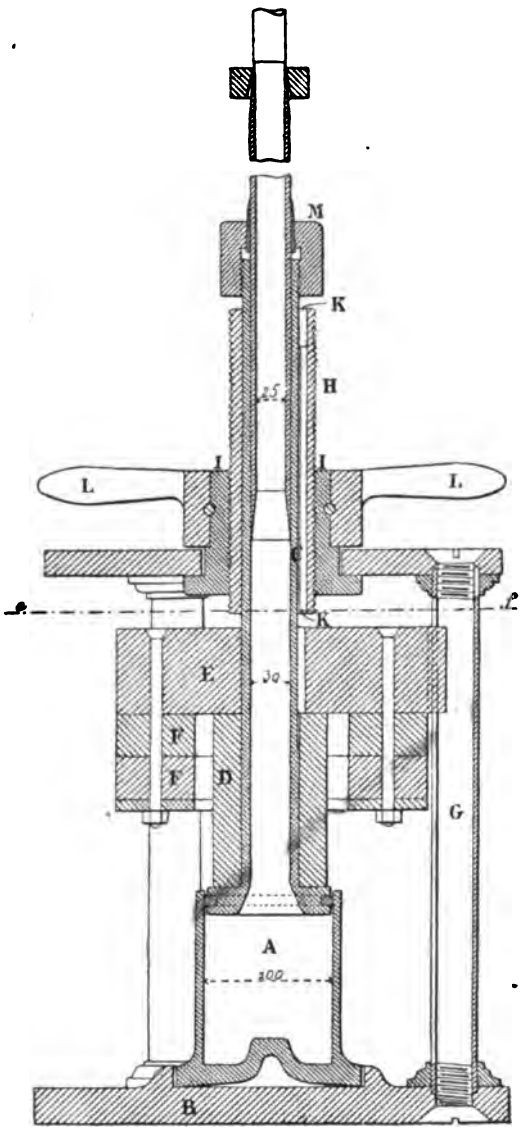
Les cylindres de pâte sont reçus dans des tubes en papier de 0 m. 026 de diamètre environ; ces douilles de papier sont placées sur l'extrémité du tube de moulage tournée en sifflet et sont fixées par une rondelle épaisse en caoutchouc. Les cylindres sont supportés au sortir du tube par des blocs de bois creusés de cannelures demi-cylindriques.

Lorsque toute la pâte contenue dans la trémie sera passée dans le tube, le piston ne pourra plus, faute d'aliment, faire avancer le cylindre contenu dans le tube, on retirera l'axe R, ce qui permettra d'enlever les barres, les bielles et le piston. L'arrière du tube sera rendu accessible, et on poussera le cylindre de pâte à l'aide d'un petit piston pourvu d'une tige flexible, comme un jonc par exemple. Le même moyen permettra aussi de nettoyer le tube après chaque opération.

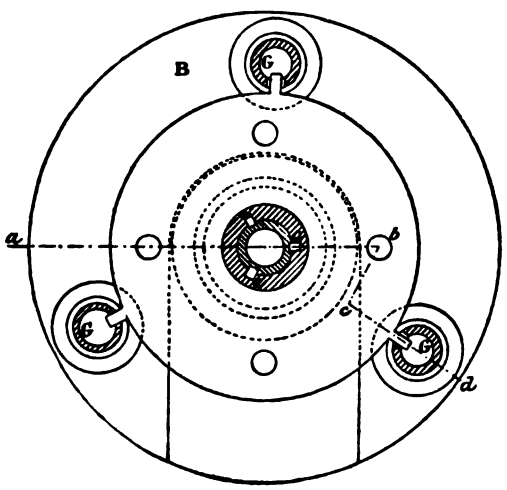
Le poids Q sera réglé pour avoir une bonne consistance d'éprouvette avec un ciment donné; il ne pourra plus ensuite subir aucune variation, et on devra allonger ou raccourcir le tube de moulage pour obtenir la même consistance avec tous les ciments ou mortiers.

APPAREIL À PRESSION CONTINUE.

Coupe *abcd*.



Coupe *ef*.



L'appareil est vertical. La pâte de ciment ou le mortier gâché à consistance normale est placé, après l'enlèvement des bulles, dans un vase cylindrique A en bronze. Ce vase est ensuite posé sur le plateau B de l'appareil, où il se centre au moyen d'une butée en forme de fer à cheval.

Dans ce vase se meut un piston surmonté des tubes fixe et mobile qui ont été décrits précédemment; le tube fixe porte trois rainures C pratiquées sur presque toute sa longueur. Sur le piston est placée une douille épaisse en fonte D surmontée d'un disque lourd E en même métal. Le disque E reçoit 3 petites clavettes qui le fixent sur le tube de moulage. A la partie inférieure de ce disque sont fixées des rondelles en fonte ou en plomb F destinées à compléter le poids chargeant le piston pour donner aux éprouvettes la pression voulue qui reste la même pour toutes les pâtes et qui reste aussi la même pour tous les mortiers à essayer. Le plateau E est guidé verticalement par trois languettes coulissant dans la rainure des tubes G.

Le piston ne doit descendre et chasser le ciment dans le tube de moulage qu'à la volonté de l'opérateur. A cet effet, il est retenu au moyen d'une douille filetée H et d'un écrou de rappel I. La douille H ne peut pas tourner; elle coulisse sur le tube, grâce aux ergots K qui glissent dans les rainures C. La manœuvre de l'écrou à l'aide des manettes L fait descendre la douille, et la tête M du tube de moulage suit ce mouvement, entraînée par l'action du poids; le piston s'abaisse et provoque une ascension de la pâte dans le tube.

Dans le moulage, il faut avoir soin de manœuvrer l'écrou I, de façon que la tête du tube porte toujours ou à peu près sur la douille filetée et que la tranche inférieure de celle-ci n'appuie jamais sur le disque E. S'il n'en était pas ainsi, on s'exposerait à transmettre au piston une surcharge due à l'action musculaire. Quand le moulage est terminé, on relève le piston jusqu'à ce qu'il soit sorti du vase A; on peut alors retirer ce vase pour le nettoyer avant de commencer une autre opération. On peut aussi sortir du tube le mortier qui le remplit.

Les éprouvettes peuvent être reçues soit dans des tubes de papier, soit dans des tubes métalliques de 0 m. 026 de diamètre intérieur. Ces derniers pourraient être construits de façon à s'ouvrir pour permettre l'enlèvement de l'éprouvette.

Paris, le 28 juin 1892.

A. BRÜLL.

SUR

LES ESSAIS À L'EAU CHAUDE.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. H. LE CHATELIER.

Les essais de ciment à l'eau chaude sont des essais par rupture (arrachement, écrasement, flexion) dans lesquels le durcissement préalable à la rupture, au lieu d'être effectué comme d'habitude dans de l'eau ou de l'air à la température ambiante, s'est effectué dans de l'eau chauffée à une température plus ou moins voisine du point d'ébullition.

Il n'est pas impossible que dans un avenir plus ou moins éloigné ce mode d'essai ne devienne sinon le seul employé, du moins le plus usité pour apprécier la qualité des ciments. On ne peut cependant songer dès maintenant à en généraliser l'emploi en raison des doutes qui subsistent encore à son endroit dans l'esprit de quelques ingénieurs. Il mérite en tout cas d'être dès à présent étudié avec attention.

Les avantages incontestés des essais à l'eau chaude sont en premier lieu leur rapidité. Au bout de sept jours ils ont fourni toutes les indications que l'on peut en attendre tandis qu'à la température ambiante il faut, au moins pour les essais à l'eau un délai de 28 jours; et pour les essais à l'air, un délai de plusieurs mois. En second lieu, les indications des essais à chaud sont beaucoup plus accentuées que celles des essais à froid. L'échelle des variations de résistance observées est considérablement amplifiée. Au lieu d'obtenir d'un ciment à l'autre des écarts qui souvent ne surpassent guère les erreurs possibles d'expériences, on observe des résistances qui varient depuis une valeur bien supérieure à celle des essais à froid de même durée jusqu'à une valeur nulle correspondant à une désagrégation spontanée des briquettes.

Le reproche que l'on fait par contre à ce mode d'essai est le suivant. S'il est bien certain que les ciments notoirement mauvais ne résistent pas à l'eau chaude, il n'est pas absolument démontré que la réciproque soit exacte, c'est-à-dire que tous les ciments qui ne résistent pas à l'eau chaude soient mauvais. On ne peut dans l'état actuel établir cette dernière proposition par l'observation directe des faits; on doit se contenter de raisons d'induction certainement très concluantes, mais qui ne sont pas cependant au-dessus de toute contestation.

On doit rappeler encore, mais seulement pour mémoire, l'objection faite parfois aux essais à l'eau chaude de ne pas classer les ciments dans le même ordre que les essais à l'eau froide. Il est bien établi aujourd'hui que certains ciments très mauvais, les ciments magnésiens par exemple, qui ne résistent pas aux essais à chaud, se comportent parfaitement aux essais à froid. Ce n'est donc pas un défaut mais bien une qualité des essais à chaud de donner dans certains cas des résultats différents des essais à froid.

MODE OPÉRATOIRE.

Pour ces essais, on confectionne et on rompt les briquettes suivant les procédés usuels en opérant sur des pâtes de ciment pur ou des mortiers. Les briquettes de ciment pur ont l'avantage de manifester déjà à la vue simple les altérations du ciment par des gonflements et fendillements; mais ce point de vue rentre plutôt dans les épreuves d'invariabilité de volume qui feront l'objet d'une note spéciale. Au point de vue des essais de résistance, il est préférable d'opérer sur des mortiers. Le mortier 1 : 3 de sable normal fortement comprimé, suivant les prescriptions du cahier des charges de Boulogne, a l'avantage de convenir également bien pour tous les produits hydrauliques: ciment, chaux, etc.

Il est important pour ces essais, surtout s'il s'agit de produits à prise très lente, comme les chaux, d'immerger les briquettes aussitôt moulées pour éviter leur égouttage. L'inégale humidité des surfaces supérieures et inférieures dans les briquettes conservées à l'air pendant la prise produit une hétérogénéité artificielle qui est une cause de désagrégation ultérieure. La même pratique serait d'ailleurs également recommandable pour les essais à froid, bien que, dans ce cas, l'inconvénient signalé ici soit moins marqué.

Les deux conditions, dont l'influence est la plus grande sur les résultats des essais à l'eau chaude, sont, d'une part, l'*époque* d'immersion dans l'eau chaude; d'autre part, la *température* de cette eau.

Comme *époque* d'immersion, il est indispensable, pour obtenir des résultats comparables, de prendre les briquettes à une même phase de leur durcissement. On peut les immerger soit aussitôt après l'achèvement de la prise d'une pâte ferme essayée parallèlement, soit au bout d'un temps double. Il est indispensable que cette *durée de prise* soit déterminée sur une pâte conservée sous l'eau. En laissant la prise se faire à l'air libre on pourrait observer une prise anticipée par égouttage et dessiccation beaucoup plus rapide que la prise réelle, et l'on serait conduit à immerger les briquettes dans l'eau chaude avant qu'elles n'aient pris une dureté suffisante, et, dans ce cas, leur désagrégation n'indiquerait pas un défaut certain de qualité.

Comme *température* de l'eau, on peut prendre l'une des deux températures 100 ou 80 degrés qui ont été le plus fréquemment employées jusqu'ici. Celle de 100 degrés, qui s'obtient par simple ébullition, a l'avantage d'être la plus facile à réaliser. Il est préférable de placer les briquettes dans un bain-marie pour éviter qu'une ébullition accidentellement trop tumultueuse ne vienne à détruire les briquettes encore friables au moment de leur immersion.

Les deux conditions d'immersion aussitôt la fin de la prise et dans de l'eau à 100 degrés sont assez sévères. En attendant au contraire un temps double et employant de l'eau à 80 degrés les conditions sont très douces. C'est entre ces limites extrêmes qu'il faudra se mouvoir pour le mortier normal 1 : 3 fortement comprimé. Si l'on voulait employer des mortiers plus maigres ou plus liquides pour se rapprocher des mortiers employés dans les travaux, il faudrait nécessairement retarder l'époque d'immersion.

RÉSULTATS.

Voici d'abord quelques chiffres relatifs à des produits de bonne qualité. Les résistances obtenues à l'eau chaude sont comparées aux résistances à l'eau froide. Les efforts indiqués sont les efforts totaux de rupture conformément à la règle adoptée par la Commission.

Une première série d'expériences a été faite au laboratoire de la ville de Paris par M. Deval. Les chiffres donnent la résistance totale de briquettes de 5 cm². confectionnées en mortier normal et immergées vingt-quatre heures après leur confection dans de l'eau chauffée à 80 degrés.

	ESSAIS À FROID.		ESSAIS À CHAUD.	RAPPORT	
	7 JOURS. a	28 JOURS. b	7 jours. A	$\frac{A}{a}$	$\frac{A}{b}$
Ciments portlands de la Société française du Boulonnais, provenant de roches triées.	kg.	kg.	kg.		
Mouture fine, fabrication actuelle	75	116	121	1,6	1,05
Mouture grossière, fabrication ancienne	33	68	55	1,65	0,81
Ciment portland à prise rapide	31	82	81	2,6	1,00
Poussières lourdes (immergées à 48 heures)	15	20	22	1,5	1,10

	ESSAIS À FROID. 7 JOURS. — a	ESSAIS À FROID. 28 JOURS. — b	ESSAIS À CHAUD. 7 jours. — A	RAPPORT A/a	RAPPORT A/b
	kg.	kg.	kg.		
Ciments portlands marchands de provenances diverses.					
A	85	140	170	2,0	1 18
D	47	105	83	1,78	0,80
F	31	73	74	2,4	1,00
H	32	64	69	2,15	1,07
Ciments de grappier du Teil.					
C	33	75	85	2,5	1,15
B	39	70	70	1,8	100
Ciments de Vassy à prise rapide.					
A'	21	45	56	2,7	1,50
B'	20,5	55	38	1,85	0,70
C'	11	27	40	3,17	1,50
G'	4	15	30	7,50	2,00

Une seconde série d'expériences sur les ciments de laitier a été faite par M. Prost, ingénieur au corps des Mines. Ces essais ont été faits avec des laitiers artificiels de compositions variées. Les briquettes rompues à l'écrasement étaient des cylindres de 2 cm. 5 de diamètre sur 2 cm. 5 de hauteur. Elles avaient été confectionnées avec le mortier normal faiblement tassé et immergées après quarante-huit heures dans de l'eau chauffée à 90 degrés.

COMPOSITION DU LAITIER.	PROPORTION DE CHAUX p. 100 de laitiers.	ESSAIS A FROID. 7 JOURS. — a	ESSAIS A FROID. 28 JOURS. — b	ESSAIS À CHAUD. 7 jours. — A	RAPPORT A/a	RAPPORT A/b
		kg.	kg.	kg.		
$2\,SiO^2 + 0{,}5\,AC^2O^3 + 2{,}5\,CaO$	37 p. 100	85	130	125	1,47	0,97
$2\,SiO^2 + 0{,}5\,AC^2O^3 + 3{,}5\,CaO$	25 —	105	185	180	1,70	0,98
$2\,SiO^2 + 0{,}25\,AC^2O^3 + 3{,}25\,CaO$	25 —	75	145	175	2 30	1,20
$2\,SiO^2 + AC^2O^3 + 3\,CaO$	40 —	200	325	270	1,35	0,84
$2\,SiO^2 + AC^2O^3 + 3\,CaO$	34 —	150	320	385	2,5	1,20

Enfin voici quelques expériences sur des chaux considérées généralement comme de bonne qualité. Ces dernières expériences sont malheureusement trop peu nombreuses pour comporter une conclusion précise. Les expériences ont été faites à l'écrasement sur des cylindres de 2 cm. 5 de diamètre et de hauteur égale; l'immersion a eu lieu au bout de quarante-huit heures.

Les deux premières chaux ont été gâchées en pâte pure.

	ESSAIS À FROID. 7 JOURS. — a	ESSAIS À FROID. 28 JOURS. — b	ESSAIS À CHAUD. 7 jours. — A	RAPPORT A/a	RAPPORT A/b
	kg.	kg.	kg.		
Chaux du Teil	67	97	395	5,8	4,0
Chaux du centre de la France	18	42	240	1,30	5,7

Voici des résultats semblables obtenus avec des chaux des environs de Paris gâchées en mortier 1 : 2 [1] :

	ESSAIS À FROID.		ESSAIS À CHAUD.	RAPPORT	
	6 JOURS. — a	28 JOURS. — b	7 jours. — A	A/a	A/b
	kg.	kg.	kg.		
Chaux Parmentier (Argenteuil)	140	"	530	3,8	"
Chaux éteinte au laboratoire	70	"	340	4,8	"
Idem	60	"	285	4,7	"

On peut, des chiffres précédents, conclure que, dans les produits hydrauliques de bonne qualité ou au moins réputés tels, les rapports des résistances après 7 jours à 80 degrés, aux résistances à 7 et 28 jours à froid, est pour des produits moyens égal à :

	7 JOURS à FROID.	28 JOURS à FROID.
Ciment à prise lente (portland, grappiers, laitiers)	2	1
Ciments à prise rapide	3	1,50
Chaux hydraulique	5	4

Lorsque au contraire l'on a affaire à des produits notoirement mauvais, ces rapports s'abaissent considérablement quand les briquettes ne se désagrègent pas dans l'eau chaude, ce qui rend toute mesure impossible.

	ESSAIS À FROID.		ESSAIS À CHAUD.	RAPPORTS	
	7 jours a.	28 jours b.	7 jours A.	A/a.	A/b.
Ciment portland à surdosage en chaux.					
Ciment naturel, — Mortier 1 : 3. — Arrachement	38	100	0	0	0
Ciment éventé ayant pris 1 p. 100. HO et CO^2	60	120	"	"	"
Ciment éventé ayant pris 5 p. 100. HO et CO^2	20	100	21	1,05	0,21
Chaux très hydraulique mal éteinte. — Pâte pure, écrasement :					
1	97	165	150	1,53	0,90
2	82	105	75	0,90	0,72
3	40	65	37	0,93	0,57

La présence de la chaux libre dans les produits hydrauliques, qui est certainement leur défaut le plus grave, s'accuse donc par une diminution relative, considérable de la résistance à

[1] Il ne faudrait pas chercher à faire de rapprochements entre des chiffres absolus de ces différents tableaux qui ne sont pas comparables. Les uns se rapportent à des mortiers fortement battus et les autres à des mortiers non tassés.

chaud, qui se traduit dès que la teneur en chaux est un peu considérable par la désagrégation totale des briquettes qui tombent en bouillie.

Enfin, il ressort des tableaux précédents que, pour les ciments à prise lente de bonne qualité, la résistance à chaud à 7 jours donne, avec une approximation largement suffisante, la résistance que l'on observerait dans des essais à froid de 28 jours. Les écarts ne sont que de 20 p. 100; or les résistances ne sont pas mesurées à 10 p. 100 près; donc un écart de 20 p. 100 sur le rapport de deux résistances ne dépasse pas les erreurs possibles d'expériences. Pour les ciments à excès de chaux, puisque le rapport est inférieur à l'unité, on aurait, en basant l'appréciation du produit sur la résistance à chaud, une idée plus juste de sa qualité qu'en s'appuyant sur la résistance à froid à 28 jours. C'est ainsi que le ciment à excès de chaux, qui a été expérimenté plus haut et qui est impropre à tout usage, a donné des résultats satisfaisants à froid.

Des essais purement qualitatifs ont montré que la magnésie libre non hydratée donnait par les essais à chaud des chutes de résistance comparables à celles qu'occasionne la chaux vive.

Pour arriver à se fixer sur la valeur pratique de semblables essais à chaud, il y aurait intérêt à les employer régulièrement dans un certain nombre de laboratoires de l'État. En suivant de très près la conduite dans les travaux des ciments qui auraient mal supporté cet essai, on serait, au bout de quelques années, fixé sur le degré de confiance qu'il mérite.

Les produits seront considérés comme ayant mal supporté l'essai, et partant comme suspects, lorsque le rapport de la résistance après 7 jours à chaud (entre 80 et 100 degrés avec immersion après un temps double de la prise) à la résistance à froid après 7 et 28 jours sera inférieur aux chiffres suivants :

	7 jours.	28 jours.
Ciments à prise lente	1,5	0,7
Ciments à prise rapide	2	1
Chaux très hydrauliques	4	2

Paris, le 22 juin 1892.

H. LE CHATELIER.

SUR

L'INTERPOSITION DE CORPS COMPRESSIBLES

ENTRE LES GRIFFES ET LES BRIQUETTES

DANS LES ESSAIS DE CIMENTS À LA TRACTION.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. R. FERET.

La figure 1 ci-après représente en vraie grandeur le type de briquette et de griffe adopté en 1885 par la Société américaine des ingénieurs civils, pour les essais de résistance des ciments à la traction [1].

Dans son rapport sur l'unification des essais de ciments, le Sous-Comité [2] en définit rigoureusement les dimensions. Il ajoute que le type de griffe proposé tout d'abord donnait souvent lieu à des ruptures irrégulières dues à l'insuffisance de la surface de contact de la briquette et de la griffe, cette dernière formant une pointe mousse qui tendait à pénétrer dans le ciment. Avec des échantillons relativement tendres, la pression arrivait à s'uniformiser autour des points de contact et la briquette se rompait bien en son milieu, mais, dès qu'on avait affaire à des ciments durs, la rupture se produisait entre les griffes.

On atténua cet inconvénient en arrondissant les pointes des griffes de manière à augmenter la surface de contact [3]. Toutefois le but poursuivi ne fut pas complètement atteint ainsi qu'en témoignent notamment les doléances de M. J.-K. Lloyd de Batavia (N.-Y.) [4].

M. W.-R. Cock, représentant à New-York d'un fabricant de machines d'essai, fut également frappé du défaut en question et construisit en 1890 un nouveau modèle de griffes représenté par la figure 2, pour lesquelles le contact avec la briquette se produit le long d'une tige d'acier *c*, légèrement renflée en son milieu et recouverte d'un tube de caoutchouc ordinaire *d* (une partie de ce tube est enlevée sur la figure pour laisser voir la tige *c*), de 6 millimètres d'épaisseur. Ce tube, qu'il est facile de remplacer quand il est usé, s'écrase sous l'effort et le régularise.

L'écrou *b* en acier est mis pour empêcher que la griffe ne saute, ce qui pourrait occasionner un glissement de la briquette et la faire casser en dehors de sa section minimum. La griffe, dont le corps est en bronze, porte par le pivot d'acier *a* sur l'étrier de la machine. L'article ajoute que l'appareil n'est pas breveté, de sorte que tout ingénieur peut librement en faire usage [5].

---

(1) La seconde griffe, identique à la première, a été supprimée sur la figure pour permettre d'inscrire les cotes.

(2) Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

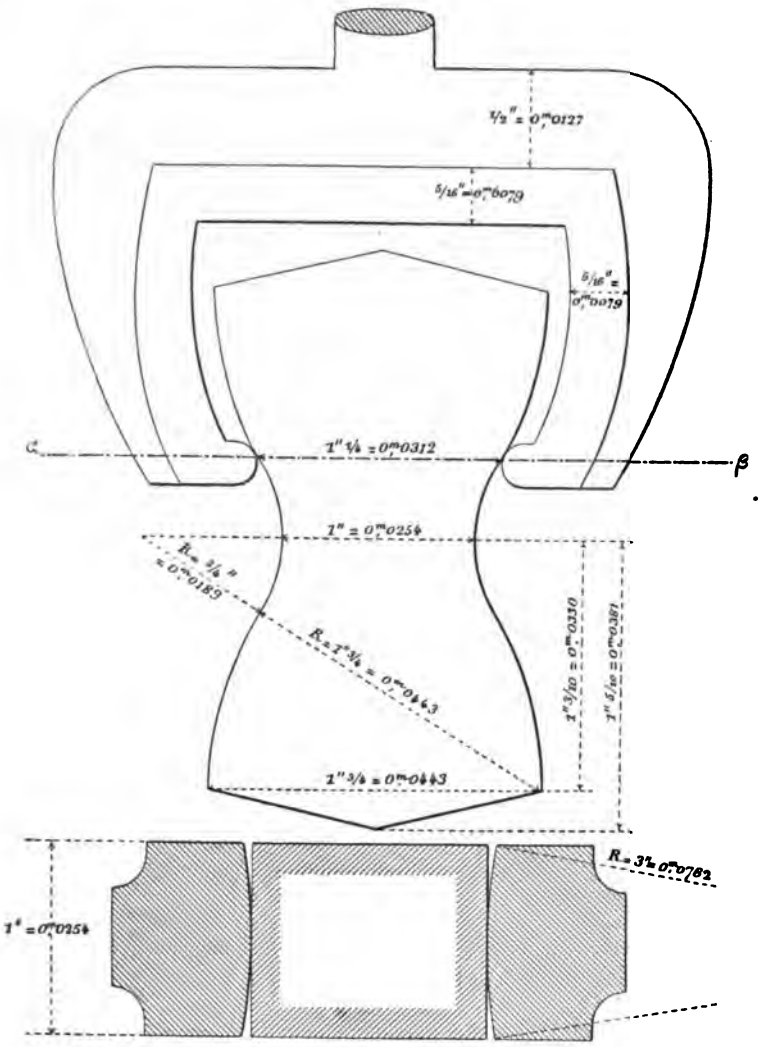
(3) *Transact. Amer. Soc. civ. eng'rs*, vol. XIV, n° 315 (nov. 1885).

(4) *Engineering News*, XXIV, p. 259 (20 sept. 1890).

(5) *Ibid.*, p. 544 (20 déc. 1890).

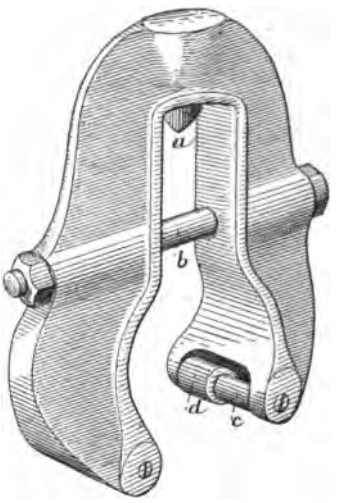
Dans un rapport officiel sur des essais exécutés de mai 1889 à juillet 1890, M. J. Gartland déclare que, tandis que l'ancienne griffe lui donnait une moyenne de 50 ruptures centrales pour 100 briquettes essayées, la proportion avait été de 90 p. 100 avec la griffe à caoutchouc [1].

Fig. 1.



Coupe suivant $\alpha\beta$.

Fig. 2.



Dans le même ordre d'idées, M. Dickinson a essayé d'interposer des bandes de carton entre les griffes ordinaires et la briquette, et prétend avoir obtenu ainsi de bons résultats tant que le carton n'était pas trop usé [1].

Toutefois l'utilité de modifications de ce genre apportées aux appareils d'essai n'est pas unanimement reconnue : M. W.-W. Maclay, l'un des membres du Comité de la Société des ingénieurs américains chargé du rapport de 1885 sur l'uniformisation des essais de ciments, affirme, à tort selon nous, que toutes les ruptures produites en dehors de la section minimum des briquettes sont dues uniquement à un défaut de malaxage des ciments. Il ajoute qu'on ne peut modifier continuellement les appareils adoptés, surtout quand, comme dans le cas en litige, la modification doit entraîner de grandes variations dans les résultats numériques qu'ils fournissent [1].

M. J. Fisher, ayant remarqué que les griffes officielles ordinaires donnaient de 50 à 60 p. 100 de ruptures irrégulières, a aussi essayé, mais sans grand succès, d'interposer entre elles et les briquettes de petites pièces de carton, de papier buvard, etc. Par contre, il a obtenu d'excellents résultats au moyen de bandelettes de caoutchouc de 0 m. 08 sur 0 m. 02, placées longitudinalement autour des briquettes. Grâce à ce dispositif facile à introduire, le nombre des briquettes cassées suivant leur section minimum a été de 90 à 95 p. 100 [2].

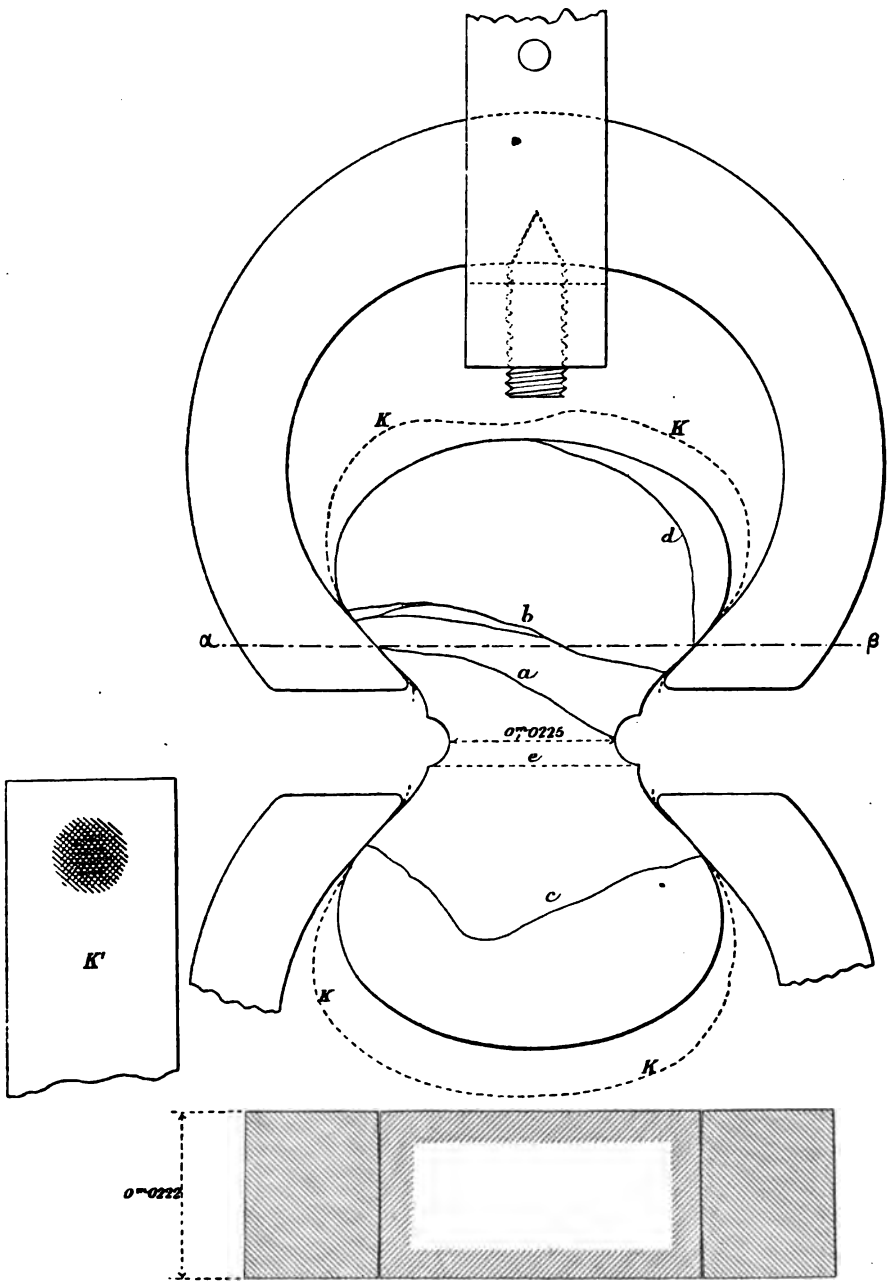
(1) *Engineering News*, XXIV, p. 544 (20 déc. 1890).
(2) *Ibid.*, XXV, p. 352 (11 avril 1891).

Enfin M. W.-R. Cock, l'inventeur de la griffe à caoutchouc ci-dessus décrite, cite, avec dessins à l'appui, une expérience qu'il a faite sur dix briquettes identiques. Cinq de ces briquettes, essayées avec son appareil, se sont cassées juste au milieu, tandis que, sur les cinq autres essayées avec la griffe ordinaire, quatre ont donné lieu à des ruptures irrégulières [1]. Il attribue les bons résultats fournis par son dispositif à ce que, grâce à sa compressibilité, le caoutchouc permet aux briquettes de se centrer parfaitement par rapport à la direction de la traction.

Tel est, à notre connaissance, l'état de la question en ce qui concerne le type de briquette et de griffe employé en Amérique.

Avec les briquettes en forme de 8 adoptées presque universellement sur le continent européen, nous ne pensons pas qu'il ait été publié de tentatives analogues.

Fig. 3.



Coupe suivant α β.

D'ailleurs la proportion des ruptures irrégulières est loin d'atteindre les nombres cités ci-dessus.

[1] *Engineering News*, XXVII, p. 250 (12 mars 1892).

Ce résultat est dû sans doute à la fois à la forme très étranglée des briquettes, au milieu desquelles est ménagée une gorge destinée à régulariser la rupture, et à celle des griffes (voir fig. 3) qui, bien que légèrement bombées et ne présentant avec la briquette qu'un contact peu étendu, ont au point de contact un très grand rayon de courbure, ce qui atténue considérablement la tendance au cisaillement signalée pour les griffes américaines, l'augmentation de la tension entraînant simplement une augmentation de la surface de contact; en outre, les formes respectives de la briquette et de la griffe aux environs du point de contact, en même temps que le mode de suspension des griffes, ont été étudiés de manière à diminuer le plus possible la probabilité d'un accrochage dyssymétrique et à en atténuer les inconvénients.

On constate que les ruptures irrégulières se produisent surtout avec les briquettes de ciment pur cassées aux longues périodes. Depuis quelques années, nous notons, au laboratoire de Boulogne, les briquettes qui se cassent en dehors de la gorge centrale. Si l'on divise toutes les briquettes cassées en deux catégories, d'une part les briquettes de ciment pur âgées de plus de trois mois, d'autre part les autres briquettes de ciment pur et toutes celles de mortier sableux, il résulte de notre statistique que la proportion des ruptures irrégulières est d'environ 15 p. 100 des briquettes du premier groupe et seulement 3 p. 100 de celles du second. L'effort *total* sous lequel la rupture se produit est d'ailleurs toujours sensiblement le même, en quelque point que la briquette se casse et, par suite, quelle que soit la surface de la section de rupture.

Souvent, avec les vieilles briquettes de ciment pur, et plus particulièrement pour certaines catégories de ciments, la cassure se produit au milieu de la tête de la briquette (généralement dans la demi-briquette supérieure), suivant des lignes très irrégulières dont les types principaux sont représentés en *a*, *b*, *c* et *d*, sur la figure 3. Mais ces anomalies ne se présentent pas forcément chaque fois qu'on casse des briquettes du même ciment, et il peut arriver qu'après telle ou telle durée d'immersion, les six briquettes essayées se rompent suivant leur section minimum, alors qu'à la période précédente, de même qu'à la période suivante, on obtienne chaque fois cinq ou six cassures irrégulières.

Il semble donc que le phénomène soit dû à un état de fragilité de la matière essayée, tel que de faibles différences dans le fonctionnement de l'appareil d'essai puissent produire d'énormes écarts dans les résultats obtenus.

Cette hypothèse se trouve confirmée par les chutes considérables de résistance que l'on observe souvent avec les ciments purs immergés à l'eau de mer depuis plusieurs mois, chutes qui ne semblent obéir à aucune loi et peuvent se produire en proportions très variables aux diverses périodes d'essai successives d'un même ciment.

Il n'y a d'ailleurs aucune relation entre ces chutes de résistance et la plus ou moins grande régularité des cassures.

Nous avons publié il y a deux ans un tableau d'expériences donnant un exemple tout à fait caractéristique de ces anomalies [1].

On peut se demander si, comme avec les briquettes américaines, l'interposition de matières formant matelas n'aurait pas pour effet de régulariser les cassures.

Pour nous en rendre compte, nous avons essayé en même temps 80 briquettes identiques tantôt avec les griffes nues, tantôt en les recouvrant de bandes de différentes matières (caoutchouc, carton, plomb) de largeur égale à l'épaisseur des briquettes et disposées, comme l'indiquent les lignes pointillées K de la figure 3, de manière à dépasser légèrement l'extrémité des griffes.

Ces briquettes avaient été fabriquées avec un genre de ciment donnant souvent lieu à des cassures irrégulières, mais ne comptaient encore qu'un mois d'immersion au moment où nous les avons essayées. Pourtant, bien qu'aucune n'ait donné des cassures aussi irrégulières que celles qui sont représentées par les lignes *a*, *b*, *c*, *d* de la figure 3, plusieurs se sont rompues hors de la gorge. Nous avons d'ailleurs déterminé pour chaque briquette le degré d'excentricité de sa cassure en comparant les poids de ses deux fragments. Représentant alors par 200 le poids total de la briquette, nous avons pris pour mesure de son excentricité l'excès à 100 du poids de la demi-briquette pincée par la griffe supérieure, et nous avons considéré comme rompues en dehors de la gorge toutes les briquettes dont l'excentricité de la cassure avait une valeur absolue égale ou supérieure à 5,5, nombre correspondant à la ligne *e* de la figure.

Le tableau ci-contre rend compte des résultats obtenus :

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, 6e sér., vol. XIX, p. 327 (mars 1890) [p. 19 du tirage spécial].

OBSERVATIONS.	GRIFFES NON PROTÉGÉES. (DISPOSITIF ORDINAIRE.)				CAOUTCHOUC. (ÉPAISSEUR : 0 m. 0015.)				CARTON. (ÉPAISSEUR : 0 m. 0006.)				PLOMB. (ÉPAISSEUR : 0 m. 0015.)			
	Excentricité de la cassure.	Surface de la section de rupture (1).	Résistance par centimètre carré de la section minimum (2).	Résistance par centimètre carré de la section de rupture.	Excentricité de la cassure.	Surface de la section de rupture (1).	Résistance par centimètre carré de la section minimum (2).	Résistance par centimètre carré de la section de rupture.	Excentricité de la cassure.	Surface de la section de rupture (1).	Résistance par centimètre carré de la section minimum (2).	Résistance par centimètre carré de la section de rupture.	Excentricité de la cassure.	Surface de la section de rupture (1).	Résistance par centimètre carré de la section minimum (2).	Résistance par centimètre carré de la section de rupture.
	E_1	S_1	R_1	$r_1 = \frac{5}{S_1} R_1$	E_2	S_2	R_2	$r_2 = \frac{5}{S_2} R_2$	E_3	S_3	R_3	$r_3 = \frac{5}{S_3} R_3$	E_4	S_4	R_4	$r_4 = \frac{5}{S_4} R_4$
		cm².	kg.	kg.		cm².	kg.	kg.		cm².	kg.	kg.		cm².	kg.	kg.
(1) Dans le calcul de cette surface on a, le cas échéant, tenu compte de la surface des bulles d'air.	+ 7,5	6,06	30,0	24,8	− 6,0	5,48	35,0	32,0	+ 2,0	5,30	27,0	25,5	− 3,0	5,09	28,5	28,0
	+ 0,5	5,14	28,0	27,2	+ 1,5	5,11	32,5	31,8	+ 3,5	5,30	33,5	31,6	− 1,5	5,20	29,0	28,8
	− 5,0	5,60	32,5	29,0	− 2,0	5,20	34,5	33,1	− 6,5	5,58	39,0	35,0	− 2,0	5,27	35,0	33,2
(2) On suppose que la section minimum est exactement de 5 centimètres carrés.	− 0,5	5,26	34,0	32,3	+ 1,0	5,10	34,5	33,8	+ 6,5	5,83	35,5	30,4	+ 1,5	5,23	32,5	31,1
	+ 3.0	5,25	33,5	31,9	− 1,5	5,15	35,5	34,4	+ 2,5	5,07	26,0	25,6	− 6,5	5,70	34,0	29,8
	+ 1,5	5,07	31,5	31,1	+ 2,5	5,36	35,0	32,7	+ 3,0	5,50	34,5	31,4	− 3,5	4,97	32,0	32,2
	− 1,0	5,40	29,0	26,9	− 3,0	5,36	36,5	34,0	− 1,5	5,18	38,0	36,6	+ 1,0	5,25	35,5	33,8
(3) $4,1 = \sqrt{\frac{\Sigma (E_1^2)}{20}}$.	0	5,14	20,5	19,9	+ 1,0	5,09	31,5	30,9	+ 5,0	5,60	36,5	32,6	0	5,07	33,5	33,0
	+ 4,5	5,39	36,0	33,4	− 1,5	5,04	35,0	34,7	+ 1,5	5,16	30,5	29,6	− 4,0	5,33	32,5	30,4
(4) $4,12 = \sqrt{\frac{\Sigma (R_1 - 31,1)^2}{19}}$.	− 5,5	5,69	33,0	29,0	+ 3,5	5,25	36,5	34,8	+ 6,0	5,84	35,5	30,3	+ 1,5	5,18	32,0	30,9
	− 4,0	5,45	36,0	33,0	− 0,5	5,14	32,0	31,1	− 6,5	5,43	31,5	29,0	− 1,5	5,30	31,0	29,3
	− 1,0	5,09	23,5	23,1	+ 1,0	5,10	31,0	30,4	+ 1,5	5,13	29,0	28,3	+ 1,5	5,00	28,5	28,5
(5) $3,63 = \sqrt{\frac{\Sigma (r_1 - 28,9)^2}{19}}$.	+ 5,0	5,50	33,5	30,5	− 3,5	5,39	35,0	32,5	− 4,0	5,39	28,0	26,0	− 8,0	5,61	27,0	24,1
	+ 6,0	5,59	30,0	26,8	− 3,0	5,16	28,5	27,6	− 6,0	5,60	34,0	30,4	0	5,15	30,0	29,1
	+ 1,5	5,17	25,5	24,7	+ 1,0	5,27	29,5	28,0	+ 1,0	5,19	31,5	30,4	− 2,0	5,07	28,0	27,6
	+ 8,0	5,76	34,5	30,0	− 2,0	5,15	31,5	30,5	+ 6,0	5,79	27,0	23,4	− 2,5	5,15	30,5	29,6
	+ 1,5	5,13	32,0	31,1	− 4,5	5,32	34,0	31,9	+ 1,5	5,40	29,5	27,3	+ 1,0	5,18	32,0	30,9
	+ 2,5	5,24	33,0	31,5	− 1,5	5,15	33,5	32,5	+ 2,5	5,37	29,0	27,0	− 2,0	5,15	29,0	28,1
	+ 6,0	5,32	35,0	32,9	+ 3,5	5,37	33,5	31,3	+ 1,5	5.10	30,5	29,9	− 6,5	5,60	30,0	26,8
	− 2,5	5,24	30,5	29,1	− 1,5	4,92	27,5	28,0	+ 0,5	4,75	28,5	30,0	+ 4,0	5,49	26,5	24,1
Moyenne	.....	.....	31,08	28,91	.....	.....	33,13	31,85	.....	.....	31,73	29,52	.....	.....	30,85	29,47
Écart moyen	± 4,1 (3)	.....	±4,12 (4)	±3,63 (5)	± 2,6	.....	± 2,56	± 2,16	± 4,0	.....	± 3,73	± 3,07	± 3,4	.....	± 2,58	± 2,66
Nombre de cassures en dehors de la gorge (± E > 5,5)	5	.....	.....	.....	1	.....	.....	.....	6	.....	.....	.....	3	.....	.....	.....
Nombre de cassures. Au-dessus du centre (E < o).	7	.....	.....	.....	12	.....	.....	.....	5	.....	.....	.....	12	.....	.....	.....
Nombre de cassures. Juste au centre (E = o)	1	.....	.....	.....	0	.....	.....	.....	0	.....	.....	.....	2	.....	.....	.....
Nombre de cassures. Au-dessous du centre (E > o).	12	.....	.....	.....	8	.....	.....	.....	15	.....	.....	.....	6	.....	.....	.....
Nombre de résistances. Supérieures à la moyenne	.....	.....	12	13	.....	.....	12	11	.....	.....	8	12	.....	.....	10	10
Nombre de résistances. Inférieures à la moyenne	.....	.....	8	7	.....	.....	8	9	.....	.....	12	8	.....	.....	10	10

On voit par ces nombres, notamment par la comparaison des écarts moyens, que, tandis que le carton a été sans influence, le plomb et surtout le caoutchouc ont eu pour effet de diminuer l'excentricité des cassures en même temps que les écarts entre les résistances obtenues.

Les résistances moyennes ont été sensiblement les mêmes dans les quatre séries d'essais, et le fait de les rapporter à la surface réelle de la section de rupture a à peine augmenté la régularité des résultats.

Après les vingt essais de chaque sorte, l'épaisseur des bandes employées n'avait pas varié et elles présentaient toutes, dans la région où avait eu lieu le contact, un léger froissement formant une trace circulaire d'environ un centimètre de diamètre, représentée en K′ sur la figure 3, et montrant bien la forme et l'étendue de la surface par laquelle l'effort s'était communiqué aux briquettes.

Une autre expérience du même genre a été faite avec 30 briquettes de ciment pur conservées dans l'eau de mer depuis cinq ans et demi et que nous prévoyions devoir donner des cassures très irrégulières. Cinq de ces briquettes se sont en effet rompues conformément aux lignes *a*, *b* ou *c* de la figure 3 ci-jointe, tandis que pour toutes les autres la cassure s'est produite sensiblement dans la gorge.

Le tableau ci-dessous montre que cette fois l'influence du caoutchouc a été nulle.

		BRIQUETTES CASSÉES.	
		COMME D'HABITUDE.	AVEC CAOUTCHOUC.
Moyenne des 15 résistances obtenues		48,83	51,53
Écart moyen		± 9,04	± 7,95
Nombre de cassures irrégulières (formes *a*, *b* ou *c*)	dans la moitié supérieure	2	2
	dans la moitié inférieure	0	1

Le caoutchouc ne semble donc pas capable de supprimer les cassures très irrégulières provenant d'un état de fragilité spécial des matériaux essayés.

Il doit avoir, en outre, l'inconvénient de ne pas rester comparable à lui-même et de se détériorer assez rapidement (après une quarantaine de ruptures, l'une des bandes commençait à se déchirer).

Enfin, sa grande compressibilité exige que, lorsqu'on l'emploie comme il vient d'être dit avec l'appareil habituel, on donne à la briquette, avant de faire couler le plomb, un premier serrage assez énergique, pour éviter un trop grand déplacement vertical du seau.

En résumé, ces expériences tendent à montrer que le caoutchouc peut, dans certains cas, régulariser les ruptures et les résistances, mais sans que cet avantage, auquel se joignent d'ailleurs certains inconvénients, soit pourtant assez important pour justifier une modification dans le sens étudié d'appareils dont l'usage est devenu aujourd'hui à peu près universel.

Boulogne, le 20 mai 1892.

R. FERET.

SUR

LES ESSAIS À LA COMPRESSION

ET AU POINÇONNAGE.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. P. SIMÉON.

PROGRAMME.

Dans la séance du 2 juillet 1892, le Comité d'études de la Section B a renvoyé au Sous-Comité [1] l'étude des différents modes d'essais à la compression et au poinçonnage, et notamment les questions suivantes :

A. — Essais à la compression.

1° *Emploi des briquettes de traction pour essais à la compression.*

Essais comparatifs sur éprouvettes du même âge :

(*a*) Briquettes entières non soumises à la traction ;

(*b*) Demi-briquettes soumises à la traction et rapprochées ;

(*c*) Demi-briquettes soumises à la traction prises isolément ;

(*d*) Demi-briquettes séparées à la confection, rapprochées ;

(*e*) Demi-briquettes séparées à la confection, prises isolément ;

(*f*) Demi-briquettes superposées ou juxtaposées.

2° *Emploi d'éprouvettes spéciales pour essais à la compression*

(*g*) Prismes à section carrée.

Étudier les cubes de 7 cm., habituellement employés.

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

Examiner s'il ne convient pas de réduire les dimensions des cubes pour écrasement, et jusqu'à quelle limite.

Les cubes doivent-ils être écrasés sur leurs faces supérieure ou inférieure de fabrication ou en délit?

Étudier les prismes de diverses hauteurs, spécialement ceux à hauteur double de l'arête de base.

(*h*) Cylindres.

Expérimenter des cylindres ayant une section comparable à celle des demi-briquettes, et différentes hauteurs ($h=d$, $h=2d$, $h=2$ cm 22).

Examiner si l'on peut employer des cylindres de plus petit diamètre.

B. — Poinçonnage.

(*i*) Essais sur demi-briquettes séparées à la traction.

(*j*) Essais sur demi-briquettes séparées à la fabrication.

(*k*) Essais sur cylindres spéciaux.

Le Sous-Comité n'avait pas à comparer la valeur relative des essais à la compression et de ceux à la traction. Ces deux méthodes sont adoptées en principe et se complètent le plus souvent. Ni l'une ni l'autre n'a de valeur théorique absolue. Il est bon toutefois de remarquer que, dans les recherches d'ordre scientifique, les essais à la compression tendent à prendre la primauté, comme moins sujets aux variations accidentelles. Si la loi mise en lumière par M. Feret se généralise, elle leur donnera une portée plus grande, en permettant de déduire la résistance par compression d'un mortier de celle d'un autre mortier à dosage différent.

Au contraire, sur les chantiers et dans l'industrie, on se contente souvent des essais à la traction, à cause de la difficulté de fabriquer régulièrement les éprouvettes pour la compression, et de la dépense occasionnée par l'installation de nouveaux appareils.

Cette étude montrera que par l'adoption d'une règle simple et pratique, on réduit ces difficultés à leur minimum.

Mais en généralisant les essais à la compression, il est bon de ne pas exagérer leur importance.

Beaucoup de constructeurs cherchent dans la résistance d'un mortier à la compression la mesure de son travail possible dans une maçonnerie.

Il y a là une confusion provenant peut-être de ce qu'on a l'habitude de demander aux métaux.

Le mortier en couche mince, dans une maçonnerie bien faite, offre à la compression normale une résistance pour ainsi dire indéfinie, quelle que soit la qualité de son liant. C'est cette propriété qui impose un minimum à la hauteur de nos éprouvettes. Les essais de laboratoire ne pourraient fournir d'indications pratiques sur la résistance réelle des mortiers, que s'il s'agissait de blocs en béton; mais les recherches sur la résistance des mortiers demandent un puissant outillage, et ne font pas partie de notre programme.

Nous considérerons donc surtout les essais à la compression comme servant à contrôler utilement les essais à la traction; on a coutume de les exécuter simultanément, et ils mettent en jeu la résistance propre du ciment et son adhérence au sable normal, sous une forme nouvelle exempte de certaines causes d'erreur, comme les bulles d'air et l'altération des surfaces.

Le rapport des résistances à la compression et à la traction n'est constant, ni pour les différentes qualités de ciment, ni pour un même ciment à différents âges; mais ces variations, produites par le temps et difficilement expliquées jusqu'ici, se font à peine sentir, lorsque les essais sont limités à 12 semaines. C'est donc sagement que l'on prescrit sur les chantiers pour la réception du ciment l'emploi simultané de la compression et de la traction.

FORME DES ÉPROUVETTES.

Au point de vue théorique, la forme à préférer paraît être un prisme à section carrée, dont la hauteur est double de l'arête de base. Dans une savante étude publiée à ce sujet dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, en mai 1888, M. Durand-Claye établit que la résistance de ce prisme à l'écrasement donne assez exactement le coefficient de résistance de la matière au cisaillement. Le plan de rupture passant généralement par deux arêtes opposées dégage le phénomène des pénétrations et des résistances passives dont il est souvent compliqué.

Cependant la pratique lui préfère souvent le cube, et notamment le cube de 7 cm. de côté ou de 50 cm² de face, qui a pour lui d'être adopté dans les épreuves des matériaux plus difficiles à travailler, comme les pierres et les bois [1].

La difficulté de fabriquer les éprouvettes prismatiques consiste, non seulement à avoir des faces opposées bien parallèles, mais surtout à battre la pâte dans les angles aussi régulièrement qu'au milieu. Dès qu'un angle cède, la résistance de la masse restante n'a plus aucun rapport avec la forme adoptée.

Plusieurs observateurs, frappés de cet inconvénient, cherchent à remplacer le prisme par un cylindre. A ce point de vue spécial, le cylindre type serait celui dont la hauteur est égale au diamètre, car c'est celui qui a le moins de surface pour un volume donné. Cette forme paraît surtout recommandable pour les petites éprouvettes que l'observateur veut écraser lui-même avec une machine de faibles dimensions. C'est dans cet ordre d'essais surtout qu'il est utile de fixer une limite minimum qui soit adoptée par le plus grand nombre des observateurs.

Un laboratoire bien organisé, dirigé par un ingénieur expérimenté, surmonte facilement les difficultés inhérentes à la fabrication de ces éprouvettes. Mais sur les chantiers et dans la plupart des usines qui cherchent un contrôle à leur fabrication, les déceptions ont fait souvent renoncer aux essais par compression. On peut citer l'usine du Teil, qui abandonna pendant plusieurs années tout essai de compression et n'y revint que grâce au procédé de poinçonnage, qui lui permit d'opérer sur les demi-briquettes ayant servi à la traction. Ce procédé lui fournit depuis cinq ans un contrôle très sensible des qualités de ses produits, mais dont les chiffres ont l'inconvénient de n'être pas comparables à ceux des cahiers des charges.

Par d'autres considérations pratiques, le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées a été amené à faire les essais d'écrasement sur les mêmes briquettes qui servent à la traction, soit entières, soit après leur rupture.

On voit de suite quelle simplification ce procédé introduirait dans la pratique : diminution de main-d'œuvre, suppression des moules spéciaux, certitude d'avoir toujours sous la main les éprouvettes nécessaires pour contrôler un résultat obtenu à la traction, identité de la pâte essayée dans les deux cas. Aussi est-ce surtout sur ce point qu'a porté l'attention du Sous-Comité.

A l'étranger, l'emploi des demi-briquettes a déjà pour lui l'autorité du docteur Michaëlis, qui, dans une lettre adressée le 27 août 1892 à M. R. Dyckerhoff, en fait la proposition dans les termes suivants :

« *Ne déterminer la résistance que sur des débris provenant des essais à la traction, procédé qui possède des avantages marqués sur celui qui consiste à opérer sur des cubes, dont le travail et la compacité sont toujours variables comparativement aux éprouvettes pour les essais à la traction, et qui d'ailleurs procure une économie de travail énorme.* »

M. R. Dyckerhoff lui-même, dans une lettre adressée de Biebrich le 20 septembre dernier à MM. les Membres de la Sous-Commission chargés d'étudier cette question par la troisième conférence de Berlin (lettre qui nous a été obligeamment communiquée), rappelle que dès 1870 il a opéré sur des éprouvettes de ce genre, puis ensuite pendant une longue période sur des plaques circulaires ayant l'épaisseur des briquettes, avec 40 centimètres carrés de surface, dont il trouvait la forme plus convenable.

---

[1] Les recherches faites sur les essais par flexion tendraient à faire adopter, pour les mortiers autres que le mortier normal, un prisme de 4 cm. de côté sur 16 cm. de longueur, dont les débris après rupture pourraient servir à l'écrasement (voir le rapport de M. Feret). Ces prismes écrasés dans le sens transversal, entre deux plaques de même largeur posées en croix, auraient à peu près les mêmes avantages et les mêmes inconvénients que des cubes de 4 cm. Le Sous-Comité n'a pas cru devoir en faire ici l'objet d'une étude spéciale.

Il abandonna à regret cette forme d'éprouvettes, malgré ses avantages reconnus, parce que les directeurs des stations d'essais de l'État demandèrent la forme cubique, pour permettre la comparaison des mortiers avec les autres matériaux de construction.

Cette idée qui paraît seule, en Allemagne, avoir empêché l'adoption d'un progrès désirable, a aussi sa valeur en France. Aussi semble-t-il juste de lui laisser son influence prépondérante sur la forme des éprouvettes à adopter pour les essais de résistance des mortiers considérés comme matériaux, et surtout des mortiers formés avec des sables courants de diverses grosseurs. Dans nos conclusions, nous proposerons de conserver provisoirement pour ces essais spéciaux les cubes de 7 centimètres, sauf à suivre plus tard les règles fixées pour les pierres et les bois. En vue des modifications possibles, nous avons comparé ce cube avec celui de 5 centimètres et avec le cylindre équivalent.

Quant aux demi-briquettes, les objections qu'on leur fait *a priori* peuvent se résumer ainsi :

1° La faible hauteur des briquettes peut mettre en jeu la résistance des couches minces de mortier dont nous avons parlé plus haut et rendre le procédé moins sensible;

2° Il peut se produire pendant la prise et le durcissement un petit gonflement, variable avec les différentes pâtes, et altérant le parallélisme des faces;

3° L'état physique des molécules peut être modifié par la traction qui amène la rupture, et la résistance en être altérée;

4° Enfin la rupture ne se faisant pas toujours dans la section médiane, les deux parties d'une même briquette peuvent donner des résultats dissemblables, quoique avec un mortier identique.

L'expérience nous montrera la valeur de ces objections, qui se réduit à fort peu de chose. C'est pour répondre aux deux dernières que nous avons comparé les briquettes rompues à la traction avec les demi-briquettes séparées au moment de la fabrication par l'interposition d'une lame mince, et les résultats obtenus en écrasant séparément ou ensemble les deux parties d'une briquette.

Dès à présent nous pouvons admettre que le désir de rendre les essais comparables à ceux des autres matériaux n'a qu'une importance très restreinte lorsqu'il s'agit des épreuves ordinaires de chantiers, ayant pour but de reconnaître la qualité d'un ciment, soit en pâte pure, soit en mortier normal.

Pour les essais de poinçonnage, qui consistent à écraser l'éprouvette en la comprimant, non plus sur toute sa surface, mais sur un disque central de rayon donné, il semble bien établi que la forme la plus convenable est celle d'une demi-briquette dont la position est facile à repérer par un moyen mécanique, ou d'un cylindre de même hauteur et de 45 millimètres de diamètre, qui donne comme nous le verrons des résultats équivalents [1].

MACHINES EMPLOYÉES.

La description des principaux laboratoires, distribuée aux membres de la Commission au commencement de ses travaux, nous dispense de donner ici une description détaillée des machines actuellement en usage pour les essais à la compression. Nous en avons employé trois qui représentent les trois types principaux auxquels on peut les ramener toutes, savoir :

1° La machine à leviers multiplicateurs, de Schickert, établie au laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne;

2° La presse hydraulique du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées;

3° Enfin la vis à pression directe et à manomètre enregistreur, construite par la maison Carpentier sur les indications de MM. L. et H. Le Chatelier. Nous nous bornerons à noter ici les observations auxquelles elles ont donné lieu pendant les expériences, et les perfectionnements que l'on doit tendre à y introduire.

C'est à M. Feret que nous devons les écrasements de demi-briquettes opérés simultanément avec la machine Schickert à Boulogne, et avec la presse hydraulique à Paris, et dont les résultats sont consignés dans le tableau n° 9. Un simple coup d'œil jeté sur ce tableau montre

[1] La surface de la demi-briquette est de 15 cm² 7, et celle du cylindre de 45 mm. de diamètre de 15 cm² 9.

que les résistances avec la machine Schickert sont généralement plus faibles qu'avec la presse; mais que les écarts sont plus forts et quelquefois dans une proportion très considérable.

Quelques-uns de ces écarts doivent être attribués à la difficulté particulière du centrage avec les demi-briquettes; mais cette difficulté existe même pour les cubes, qui sont rarement d'aplomb au milieu de l'étrier qui leur transmet la pression. De là des résistances trop faibles et variant avec l'opérateur, comme le montre le tableau n° 7 dû tout entier à l'obligeance de M. Feret. Avec lui nous résumerons ainsi les reproches que l'on peut faire à la machine à leviers :

1° Elle ne peut être vérifiée par un tarage direct.

2° La charge produite par des poids ajoutés un à un dans un seau, à l'extrémité du dernier levier, n'augmente pas d'une manière continue. En outre, l'effet produit varie suivant l'importance des poids que l'on introduit à chaque fois; la vitesse avec laquelle on les introduit a aussi son influence. — On pourrait remédier à ces inconvénients en produisant la charge au moyen de grenailles de plomb, comme pour la traction, mais ce moyen n'est pratique que pour les faibles résistances.

3° Au moment où le bloc est près de se rompre, on ne sait si l'on doit ajouter encore un poids, ou attendre quelques instants que la rupture se produise sous la charge actuelle.

4° La rupture des cubes de forte résistance se produit brusquement, et si on laisse tomber, même sur la cheville d'arrêt convenablement placée, le seau chargé de 45 kilogrammes ou plus, le choc très violent peut détériorer l'appareil. L'opérateur est donc obligé de retenir le levier avec la main au moment de sa chute, ce qui n'est pas sans danger.

5° On n'est jamais sûr que l'opérateur n'a pas fait d'erreur dans l'addition des poids et n'a pas oublié de compter le poids du seau. Plusieurs écarts inexplicables autrement ont dû être attribués à cet oubli.

6° La difficulté de centrage, déjà sensible pour les cubes de 7 centimètres de côté, augmente considérablement dès qu'on prend des éprouvettes plus petites.

La presse hydraulique dont nous nous sommes servis au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées est exempte de presque tous ces inconvénients; son seul défaut est de coûter cher. Il semble pourtant qu'en bornant sa puissance à un effort de 20.000 kilogrammes, qui suffit toujours pour l'écrasement d'une demi-briquette, son prix ne doive pas beaucoup dépasser celui d'une presse à levier.

Dans l'établissement d'une presse destinée spécialement aux essais par compression, il y a lieu de recommander, au nom de la pratique :

Une vis d'arrêt fixant la position initiale de l'éprouvette;

Une pompe avec arrêts facultatifs, n'exigeant pas un effort continu;

Un manomètre muni d'un index s'arrêtant à la pression maximum.

Les deux genres de manomètres actuellement employés ont leurs partisans, et l'expérience des laboratoires n'est pas encore suffisante pour trancher la question en faveur de l'un ou de l'autre.

Le manomètre Bourdon donne d'excellents résultats au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées; quand il vient à se fatiguer, l'appareil type l'indique aussitôt, et la rectification peut se faire en quelques heures pour un laboratoire situé à Paris. A l'étranger, et surtout en Suisse, on paraît préférer le manomètre à colonne de mercure, recevant la pression par un piston différentiel, au moyen d'une membrane. Ce manomètre est généralement muni d'un petit flotteur en fer aimanté servant d'index.

Les renseignements fournis par les laboratoires nationaux de Zurich et de Vienne sont des plus favorables à l'emploi d'une presse à piston différentiel adoptée depuis 1888 et construite d'après le principe de M. le professeur Amagat, de Lyon, qui assure l'herméticité sans cuir embouti et sans frottement, simplement par le passage du piston dans une huile épaisse. Les avantages de cet appareil signalés par M. le professeur Tetmajer sont : la manœuvre prompte et facile jusqu'à un effort de 20.000 kilogrammes; l'approximation de la lecture à 0 kg. 25 par centimètre carré de surface pressée, quel que soit l'effort; enfin la faculté de contrôle. On en trouve la description dans la *Schweizerische Bauzeitung* du 12 janvier 1889; son prix est de 1.450 francs, plus 250 francs pour l'appareil de tarage.

On rencontre encore dans plusieurs laboratoires et dans quelques usines la grande presse à levier, dont s'est servi M. Hervé-Mangon; il n'y a pas lieu de la proscrire. Mais l'avenir est aux appareils légers et de maniement facile. A ce titre, la vis à action directe de MM. L. et H. Le Chatelier mérite toute l'attention des observateurs. L'appareil qui fonctionne au laboratoire de l'École des Mines et à celui de l'École des Ponts et Chaussées a été établi au prix modique de 500 francs, en vue surtout des essais au poinçonnage. Son effort maximum de 4.000 kilogrammes est insuffisant pour l'écrasement des demi-briquettes, mais convient très bien pour les petits cylindres de 3 centimètres de diamètre en mortier normal. Un modèle plus fort est en construction chez l'ingénieur Desmichels, qui pourra écraser à tout âge les demi-briquettes en mortier normal. Il a l'inconvénient de n'être pas facilement susceptible de tarage direct.

Mais, combiné avec le procédé du poinçonnage et avec le manomètre enregistreur, il a l'avantage de réduire au minimum les variations provenant de la main de l'opérateur.

Le laboratoire de l'usine du Teil, qui l'emploie depuis le mois de septembre 1888, y a trouvé un contrôle des plus réguliers et des plus efficaces; pendant ce laps de quatre ans, la machine a écrasé en moyenne 60 éprouvettes par jour, sans avoir besoin d'une seule réparation, sans même qu'on eût à changer la feuille de caoutchouc qui retient le liquide. Avec le poinçon de 5 centimètres carrés de surface, son effort de 800 kilogrammes par centimètre carré a suffi pour tous les mortiers normaux, sauf un seul.

Les perfectionnements, indiqués par l'expérience, à exiger du nouveau modèle, sont les suivants :

Y adapter, si possible, un appareil de tarage.

Trouver un moyen facile de constater si le liquide est en quantité suffisante. (Il peut s'échapper peu à peu, et si l'on ne s'en aperçoit pas, les indications deviennent insuffisantes.)

Empêcher le coincement de l'écrou et du contre-écrou, qui exigent quelquefois le marteau pour être desserrés.

Ajouter une oreille à la rondelle portant le fil de communication avec le cylindre enregistreur; il serait bon de pouvoir la tenir avec le doigt pendant que le poinçon descend jusqu'à l'éprouvette.

Cet appareil paraît offrir des garanties sérieuses aux laboratoires de recherches, en vue d'éliminer autant que possible l'influence de l'opérateur. Nos expériences avec la vis de MM. Le Chatelier n'ayant porté que sur le poinçonnage n'ont pu dégager suffisamment l'influence de l'appareil et celle du procédé.

Il serait à désirer qu'un laboratoire public pût l'employer simultanément avec la presse hydraulique, et comparer, sur une longue suite d'essais, la valeur de ces deux appareils, pour la compression aussi bien que pour le poinçonnage.

EXPÉRIENCES.

Le Sous-Comité, aidé par le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, a fait confectionner dès le mois de juillet, avec un même ciment portland de bonne qualité, tant en ciment pur qu'en mortier normal, les briquettes, demi-briquettes, prismes et cylindres, dont les nombres et les dimensions figurent aux tableaux n°s 1, 2 et 3. Ces éprouvettes ont été écrasées après 7 jours, 28 jours et 84 jours d'immersion.

Sur chaque opération de gâchage faite à une date différente, il a été prélevé une série de briquettes devant, par l'essai à la traction, servir de témoins de la qualité du ciment.

Dans ces trois tableaux, ainsi que dans les tableaux 4, 5 et 6 relatifs au poinçonnage, les résistances ont été ramenées à l'unité de surface comprimée, sans préjuger en rien la conclusion à prendre à ce sujet, mais uniquement pour rendre la lecture de ces tableaux plus facile avec les habitudes répandues jusqu'ici.

Le Comité d'études ayant déjà manifesté à juste titre sa préférence pour les nombres exprimant la résistance totale, même dans les essais à la traction, cette règle trouvera *a fortiori* son application dans les essais à la compression; car tant qu'il y aura des éprouvettes de formes et de grandeurs différentes, la réduction à l'unité ne pourra qu'induire à faire des comparaisons erronées entre des essais tout à fait dissemblables.

Toutes les fois que la série de six briquettes a été complète, nous avons inscrit la moyenne

générale, la moyenne des trois plus fortes ruptures, l'écart de ces deux moyennes et le rapport de cet écart à la moyenne générale. Ce coefficient est sans doute moins précis que celui tiré de l'écart moyen; mais il suffit pour comparer la régularité des diverses méthodes.

Toutes les fois que les demi-briquettes ont été écrasées et poinçonnées, nous avons inscrit la moyenne des résultats obtenus pour les deux parties d'une même briquette, en notant seulement les écarts moyen et maximum observés entre deux parties d'une même briquette.

Nos essais de poinçonnage ont porté sur des briquettes rompues à la traction, séparées à la fabrication et sur des cylindres de 3 centimètres de diamètre (ces derniers essais étant plutôt des écrasements avec la machine à poinçonner).

Nous avons aussi comparé des cylindres de 45 millimètres de diamètre en ciment de Boulogne et en chaux du Teil.

Ces essais étant forcément trop limités pour pouvoir apprécier la régularité de la nouvelle méthode, nous avons demandé au laboratoire de l'usine du Teil de nous communiquer les écarts obtenus avec la machine de MM. Le Chatelier dans le poinçonnage de dix séries de briquettes faites avec des mortiers différents, et aussi les résultats avec des poinçons de différents diamètres sur diverses séries de briquettes. Ces renseignements sont consignés dans les tableaux n°s 5 et 6.

Le laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne a bien voulu nous communiquer aussi une série d'essais importants ayant pour but de rechercher s'il y a une loi reliant entre eux les résultats obtenus avec une forme d'éprouvettes et ceux obtenus avec une autre forme.

On comprend l'importance de cette loi, si elle existe, au point de vue de nos recherches. En effet, tout en souhaitant de voir adopter une méthode plus simple et plus pratique que celles des cubes pour l'écrasement, il serait du plus haut intérêt de pouvoir relier les nouveaux essais aux anciens.

Or, dans le tableau n° 8, nous voyons écrits en regard les efforts supportés par unité de surface de seize mortiers différents, après un an d'exposition à l'eau de mer, à l'eau douce et à l'air, en écrasant avec la machine Schickert :

1° Quatre briquettes superposées, précédemment rompues par traction et dont les parties étaient rapprochées;

2° Deux cubes de 50 centimètres carrés de face.

Si, pour rendre ces résultats plus compréhensibles, nous les représentions par la méthode graphique, en désignant chacun d'eux par un point dont l'abscisse serait la résistance obtenue avec les quatre briquettes superposées et écrasées ensemble, et l'ordonnée la moyenne des résistances fournies par les deux cubes, nous verrions tous ces points se grouper très régulièrement autour d'une droite passant par l'origine, et dont l'équation serait approximativement $\frac{x}{2} = \frac{y}{5}$; ce qui veut dire que la résistance du cube par cm^2 étant connue, on aura la résistance des briquettes en multipliant la première par $\frac{2}{5}$.

Il serait facile de vérifier numériquement que les résultats ainsi calculés ne s'écartent pas des résultats observés d'une quantité qui dépasse les erreurs d'observation.

Nous regrettons de n'avoir pu chercher une loi semblable pour les demi-briquettes écrasées isolément; mais si nos conclusions sont adoptées, ce sera là une recherche à entreprendre le plus promptement possible.

DISCUSSION.

De l'examen attentif des tableaux soumis à la Commission, on peut tirer les remarques et observations suivantes, qui répondent à la plus grande partie des questions proposées.

Tableau n° 1.

1° Les briquettes entières écrasées à la presse hydraulique donnent une résistance plus grande par centimètre carré que les demi-briquettes rapprochées; celles-ci une résistance plus grande que les demi-briquettes prises isolément, et celles-ci une résistance plus grande que les demi-briquettes superposées.

2° Il n'y a pas d'avantage à séparer les demi-briquettes au moment de la fabrication : l'écart qui peut exister entre les deux parties d'une même briquette disparaît si l'on additionne les résistances fournies par ces deux demi-briquettes jumelles.

3° Il n'y a pas d'avantage à écraser les briquettes entières. La résistance est plus forte, mais pas plus régulière. Cette méthode n'est donc pas à recommander, d'autant plus qu'elle exige une machine plus dispendieuse, et empêche de profiter des éprouvettes ayant servi pour la traction.

4° La superposition des demi-briquettes diminue l'effort nécessaire, mais augmente les écarts; on ne doit y recourir que quand il est impossible de faire autrement.

5° Les écarts obtenus par l'écrasement des demi-briquettes sont du même ordre que ceux obtenus à la traction.

Observations. — Il serait très intéressant pour compléter cette étude de pouvoir comparer, sur une longue série d'essais, les résistances obtenues avec les demi-briquettes rompues à la traction, puis rapprochées et écrasées simultanément, aux résistances que donnent les demi-briquettes prises isolément. La supériorité que nous avons constatée dans le premier cas, avec une seule série de six briquettes, pourrait ne pas se maintenir, et alors il serait loisible d'employer l'une ou l'autre méthode, suivant la force de la machine dont on disposerait. Dans le cas contraire, il y aurait une utilité théorique et pratique à connaître le rapport moyen de ces deux résistances. Le laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées dispose du matériel le mieux approprié à cette recherche, et pourrait poursuivre la solution de ce problème, presque sans perte de temps, en prescrivant, pendant l'année 1893, par exemple, que toutes les fois qu'une série de six briquettes sera écrasée à la presse hydraulique, les six premières demi-briquettes seront écrasées deux à deux, les six dernières isolément, et que les moyennes seront faites séparément. Il serait bon que la même presse servît pour toute une série de six briquettes.

Nous recommandons cette recherche, que le Sous-Comité ne pouvait entreprendre, faute de temps, à l'attention et à l'obligeance des ingénieurs éminents qui dirigent ce laboratoire.

En l'état de la question, nous pensons que l'écrasement des demi-briquettes prises isolément peut seul faire l'objet d'une règle générale, à cause de la dépense qu'entraînerait pour beaucoup de chantiers l'établissement d'une presse capable d'un effort supérieur à 20.000 kilogrammes.

Tableau n° 2.

6° Les essais trop peu nombreux consignés dans ce tableau n'accusent pas de différence constante et appréciable au point de vue de la résistance entre les cubes et les prismes carrés à hauteur double de l'arête de base, que cette arête soit de 7 ou de 5 centimètres.

7° Les cubes de 7 centimètres en matière pure ont donné plus de résistance par centimètre carré que les cubes de 5 centimètres. Le contraire a eu lieu en mortier normal. On ne peut tirer aucune conclusion de ces résultats contradictoires, à cause du petit nombre des éprouvettes. Mais, si nous en rapprochons le tableau dressé avec beaucoup de soin par M. Feret, pour les essais au choc et à la flexion, avec des mortiers 1 : 5, 1 : 3, 1 : 2 à l'air, à l'eau douce et à l'eau de mer, nous constaterons que la résistance par centimètre carré croît quand le cube diminue, et qu'il en est de même des écarts. La moyenne de ces derniers est de :

2,9 p. 100 avec les cubes de 7 cm.;
6,2 p. 100 avec les cubes de 4 cm.;
5,8 p. 100 avec les demi-prismes de 4 cm.

Pour le moment, on doit donc se tenir au cube de 7 cm. de côté, ou de 50 cm² de face, toutes les fois que la comparaison avec d'autres matériaux nécessitera l'emploi de cette forme d'éprouvettes. Mais si la méthode des essais par flexion venait à se répandre pour les pierres comme pour les mortiers, il n'y aurait aucun inconvénient à adopter pour la compression les débris des prismes ayant servi à la flexion, comme le propose M. Feret.

8° Les cubes écrasés en délit ont donné sensiblement les mêmes résultats que ceux qui ont été écrasés sur leurs faces de compression. Là encore nos essais étant trop peu nombreux,

nous avons eu recours à l'obligeance de M. Feret, qui nous a communiqué les résultats suivants :

ÉCART MOYEN.	MOYENNES.	RÉSISTANCES INDIVIDUELLES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ.							OBTENUES.
kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	
± 24,3	228,6	235	200	200	265	230	250	220	Normalement à une face libre.
± 6,3	226,5	230	220	235	220	220	230	230	Normalement à une face latérale.

Il y a donc lieu de recommander l'écrasement des cubes sur leurs faces latérales, pour éviter les aspérités et irrégularités qui peuvent subsister sur les faces ayant servi au damage.

Tableau n° 3.

9° Les cylindres de 45 millimètres de diamètre et de 22 millimètres de hauteur ont donné sensiblement les mêmes résistances à la compression que les demi-briquettes séparées par la traction.

10° En passant d'une hauteur double du diamètre à une hauteur égale au diamètre, ou moindre, la résistance a augmenté; mais cette augmentation est très faible pour les petits diamètres de 30 et de 20 millimètres.

11° Les cylindres à l'écrasement ne paraissent offrir de supériorité ni sur les cubes, ni sur les demi-briquettes. Il n'y a lieu de recommander que les petits cylindres en mortier normal, et notamment ceux de 3 cm. de diamètre, à cause du peu de force et du peu de matière qu'ils exigent.

Observation. Pour l'écrasement de ces petits cylindres, dont l'emploi serait si commode dans les recherches d'ordre scientifique, il semble naturel de préférer une vis analogue à celle de MM. L. et H. Le Chatelier. Toutefois, il y a lieu de renouveler ces essais, en soumettant à la presse hydraulique et à la vis poinçonneuse des cylindres de 3 centimètres, absolument identiques. Le rédacteur de ce rapport espère pouvoir terminer cette comparaison avant la fin des travaux de la Commission.

Tableaux n°s 4, 5 et 6.

12° Au poinçonnage comme à l'écrasement, il y a équivalence entre les demi-briquettes rompues à la traction et les demi-briquettes séparées à la fabrication.

13° Les écarts relevés sur une longue série d'essais au poinçonnage, faits au laboratoire du Teil, varient généralement de 5 à 10 p. 100. Ils sont moindres que ceux qu'on obtient ordinairement par l'écrasement des cubes, mais ne présentent pas d'avantage sur l'écrasement des demi-briquettes.

14° Les résultats obtenus avec les poinçons de divers diamètres montrent qu'avec une matière relativement tendre, comme un mortier de chaux encore jeune, la résistance par centimètre carré ne varie pas, tandis qu'avec une matière dure comme un ciment de laitier à deux mois, la résistance par centimètre carré est inversement proportionnelle à la section du poinçon. Ceci revient à dire, comme on pouvait le prévoir, que dans le premier cas la résistance totale est proportionnelle à la surface du poinçon; et que, dans le second cas, elle dépend uniquement de la forme et des dimensions de l'éprouvette. Ces deux états ne sont pas reliés par une loi continue, et ce fait suffit pour montrer l'inutilité de toute recherche, tendant à établir une relation régulière entre les résistances à la traction et les résistances au poinçonnage. Il en est de même, pour d'autres raisons, des résistances à la compression.

Observation. — Le procédé du poinçonnage ne paraît pas encore assez mûr pour en faire l'objet d'un règlement. Mais ses avantages le recommandent à l'attention de tous les observateurs.

Quoique la machine de MM. Le Chatelier ajoute à sa promptitude et à sa sécurité, elle ne lui est pas essentiellement liée, et un dispositif fort simple permettrait de poinçonner avec une presse hydraulique. Il serait intéressant d'essayer ainsi le poinçonnage sur une plaque percée d'un trou dont le diamètre serait supérieur à celui du poinçon. On produirait ainsi un effet de cisaillement, qui serait vraisemblablement sujet à moins d'écarts que l'écrasement proprement dit, mais il n'y a pas encore d'essais publiés dans cette voie, et le but de la Commission est d'unifier les essais déjà connus.

CONCLUSIONS.

En conséquence, le Sous-Comité propose les conclusions suivantes :

A.

1° Les essais normaux de résistance à la compression se feront aux mêmes époques et avec les mêmes pâtes que les essais de résistance à la traction;

2° On prendra comme éprouvettes les demi-briquettes précédemment séparées par la traction. A défaut de ces demi-briquettes, on pourra se servir de cylindres de 45 millimètres de diamètre sur 22 mm. 2 de hauteur, confectionnés et traités comme les briquettes destinées aux essais de traction;

3° Chaque demi-briquette sera écrasée isolément; on additionnera les résistances obtenues pour deux éprouvettes provenant de la même briquette, la somme sera divisée par la surface de la briquette normale exprimée en cm^2, et on inscrira le quotient;

4° Les nombres ainsi obtenus serviront à calculer les moyennes, comme pour les résistances à la traction;

5° Les éprouvettes servant à ces essais seront pesées, soit avant, soit après la rupture par la traction;

6° Celles qui présenteront des rugosités ou soulèvements apparents seront aplanies, en les frottant légèrement à la main sur une table de grès;

7° La pression devra croître régulièrement, sans à-coup, de manière que l'écrasement d'une éprouvette dure de une à deux minutes environ;

B.

Pour les essais tendant à comparer les mortiers de toute nature avec les autres matériaux, le Sous-Comité recommande *provisoirement* l'emploi du cube de 50 centimètres de face, posé sous la presse en *délit;* d'une manière générale, on se conformera pour ces essais aux règles adoptées pour les autres matériaux;

Nota : Le Sous-Comité émet le vœu que, dans les recherches entreprises sur les mortiers dans un but scientifique, les expérimentateurs continuent à étudier les avantages du poinçonnage et de l'écrasement des cylindres de petites dimensions.

Paris, le 10 décembre 1892.

P. SIMÉON.

TABLEAU N° 1.

Essais à la traction et à la compression faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées sur briquettes ordinaires.

DÉSIGNATION des ÉPROUVETTES.	NOMBRE DES ÉPROUVETTES.	EN CIMENT PUR.			EN MORTIER 1 : 3.			OBSERVATIONS.
		RÉSISTANCE À LA TRACTION.						
		7 JOURS.	28 JOURS.	84 JOURS.	7 JOURS.	28 JOURS.	84 JOURS.	
(b)	6	29,25	47,57	51,75	15,28	20,40	26,85	Moyenne des 6 briquettes.
		30,57	49,27	55,10	16,67	21,10	28,67	Moyenne des 3 meilleures.
		1,34	1,70	3,35	1,39	0,70	1,82	Différences.
		5 p. 100	4 p. 100	6 p. 100	9 p 100	3 p. 100	7 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
(c)	6	30,50	45,22	52,60	14,53	20,78	28,05	Moyenne des 6 briquettes.
		31,60	47,17	54,37	15,50	21,97	28,97	Moyenne des 3 meilleures.
		1,10	1,95	1,77	0,97	1,19	0,92	Différence.
		3 p. 100	4 p. 100	3 p. 100	6 p. 100	5 p. 100	3 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
		RÉSISTANCE À LA COMPRESSION.						
(a) Briquettes entières.....	6	318,7	610,7	857,0	184,7	229,7	307,7	Moyenne des 6 briquettes.
		326,7	634,0	815,7	193,3	247,3	328,7	Moyenne des 3 meilleures.
		9,0	23,3	28,7	8,6	17,6	21,0	Différence.
		2 p. 100	4 p. 100	3 p. 100	4 p. 100	7 p. 100	7 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
(b) Demi-briquettes rompues à la traction et rapprochées....	6	294,7	570,3	771,5	151,0	187,3	246,0	Moyenne des 6 briquettes.
		301,7	587,3	822,0	154,3	200,0	270,3	Moyenne des 3 meilleures.
		7,0	17,0	50,5	3,3	12,7	24,3	Différence.
		3 p. 100	3 p. 100	6 p. 100	2 p. 100	6 p. 100	9 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
(c) Demi-briquettes rompues à la traction prises isolément...	6	300,6	478,4	631,4	143,2	182,8	238,8	Moyenne des 6 briquettes.
		306,0	492,6	655,4	147,0	191,0	258,3	Moyenne des 3 meilleures.
		5,4	14,2	24,0	3,8	8,2	19,5	Différence.
		2 p. 100	3 p. 100	4 p. 100	2 p. 100	4 p. 100	8 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
		(12)	(29)	(23)	(18)	(21)	(23)	Moyen. Écart observé entre 2 demi-briquettes.
		(26)	(55)	(51)	(26)	(47)	(47)	Maximum.
(d) Demi-briquettes séparées à la fabrication et rapprochées..	6	311,7	607,3	795,0	164,5	218,0	243,8	Moyenne des 3 briquettes.
		319,7	627,3	815,0	171,3	238,0	364,7	Moyenne des 3 meilleures.
		8,0	20,0	29,0	6,8	20,0	20,9	Différence.
		2 p. 100	3 p. 100	2 p. 100	4 p. 100	9 p. 100	8 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
(e) Demi-briquettes séparées à la fabrication prises isolément.	6	299,4	505,6	678,0	147,2	186,7	239,0	Moyenne des 6 briquettes.
		304,6	614,0	713,4	152,3	199,0	265,3	Moyenne des 3 meilleures.
		5,2	8,4	35,4	5,1	12,3	17,3	Différence.
		2 p. 100	1 p. 100	5 p. 100	3 p. 100	6 p. 100	7 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
		(12)	(38)	(36)	(15)	(20)	(38)	Moyen. Écart observé entre 2 demi-briquettes.
		(30)	(64)	(60)	(26)	(43)	(64)	Maximum.
(f) Demi-briquettes séparées à la fabrication et superposées.	6	261,4	57,7	448,4	77,7	139,3	152,3	Moyenne des 6 briquettes.
		268,0	86,0	476,0	82,0	150,6	164,6	Moyenne des 3 meilleures.
		6,6	28,3	27,6	4,3	11,3	12,3	Différences.
		2 p. 100	8 p. 100	6 p. 100	5 p. 100	8 p. 100	8 p. 100	Rapport à la moyenne générale.

TABLEAU N° 2.

Essais à la compression faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées sur prismes à section carrée.

DESIGNATION des éprouvettes.	EN CIMENT PUR.				EN MORTIER 1 : 3.				OBSERVATIONS.
	RÉSISTANCE À LA TRACTION.								
	NOMBRE des éprouvettes	7 jours.	28 jours.	84 jours.	NOMBRE des éprouvettes	7 jours.	28 jours.	84 jours.	
Briquettes ordinaires pour comparaison.....	6	28,27	44,00	50.53	6	10,08	18,55	28,24	Moyenne des 6 briquettes.
		29,27	45,47	52,30		10,57	19,07	29,20	Moyenne des 3 meilleures.
		1,00	1,47	1,77		0,49	0,52	0,96	Différence.
		3 p.100	3 p.100	3 p.100		4 p.100	3 p.100	3 p.100	Rapport à la moyenne générale.
	RÉSISTANCE À LA COMPRESSION.								
Briquettes ordinaires pour comparaison (demi-briquettes rapprochées)...	6	214,0	518,2	715,0	6	106,2	192,7	253,3	Moyenne des 6 briquettes.
		215,7	530,0	745,0		117,7	205,0	266,0	Moyenne des 3 meilleures.
		1,7	11,8	30,0		11,5	12,3	12,7	Différence.
		0,8 p. 100	2 p. 100	4 p. 100		10 p. 100	6 p. 100	5 . 100	Rapport à la moyenne générale.
Prismes 7 × 14 cm.....	2	180,0	415,0	305,0	2	58,5	117,0	142,0	
Prismes 7 × 10,5 cm....	2	184,5	339,0	585,0	2	64,5	129,0	118,0	
Prismes 5 × 10 cm.....	2	177,5	378,0	580,0	2	38,5	68,0	96,0	
Cubes 7 × 7 cm. de lit en lit.	2	179,5	389,0	556,0	3	74,0	127,0	190,7	
Cubes 7 × 7 cm. en délit.	..	.....	.....	.....	3	62,8	131,7	197,0	
Cubes 5 × 5 cm. de lit en lit.	2	188,0	345,5	655,0	2	50,5	72,0	118,5	
Cubes 5 × 5 cm. en délit.	...	.....	.....	.....	2	52,0	81,5	140,0	

TABLEAU N° 3.

Essais à la compression faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées sur éprouvettes cylindriques.

DESIGNATION des ÉPROUVETTES.	EN PÂTE PURE.				EN MORTIER 1 : 3.				OBSERVATIONS.
	RÉSISTANCE À LA TRACTION.								
	NOMBRE des éprouvettes.	7 jours.	28 jours.	84 jours.	NOMBRE des éprouvettes.	7 jours.	28 jours.	84 jours.	
Briquettes ordinaires pour comparaison	6	32,89	45,92	43,32	6	15,38	21,1	29,95	Moyenne des 6 briquettes.
		34,80	47,47	47,33		15,83	22,5	31,93	Moyenne des 3 meilleures.
		1,91	1,55	4,01		0,45	1,4	1,98	Différence.
		5 p. 100	3 p. 100	9 p. 100		3 p. 100	6 p. 100	6 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
	RÉSISTANCE À LA COMPRESSION.								
Briquettes ordinaires pour comparaison	6	292,0	546,8	682,3	6	163,7	203,2	268,8	
		304,0	560,7	694,0		169,0	219,7	282,0	Moyenne des 6 briquettes.
(Demi-briquettes rapprochées.)		12,0	13,9	11,7		5,3	16,5	13,2	Moyenne des 3 meilleures.
		4 p. 100	2 p. 100	2 p. 100		3 p. 100	3 p. 100	5 p. 100	Différence.
Cylindre { Diam. = 45 mm.. Haut. = 2 diam..	3	153,7	342,7	472,3	3	44,7	75,7	110,3	Rapport à la moyenne générale.
Cylindre { Diam. = 45 mm. Haut. = diam...	3	191,4	344,0	440,0	3	65,7	90,7	148,3	
Cylindre { Diam. = 45 mm. Haut. = 22 mm22	3	269,0	420,7	524,3	3	149,2	171,0	220,7	
Cylindre { Diam. = 40 mm.. Haut. = 2 diam..	3	192,7	367,7	507,3	3	47,7	74,0	107,7	
Cylindre { Diam. = 40 mm. Haut. = diam...	3	417,2	376,3	443,3	3	60,0	102,3	166,0	
Cylindre { Diam. = 40 mm. Haut. = 22 mm22	3	244,0	447,0	523,3	3	123,7	162,7	166,0	
Cylindre { Diam. = 30 mm.. Haut. = 2 diam..	3	204,3	371,0	462,0	3	53,4	53,4	107,0	
Cylindre { Diam. = 30 mm. Haut. = diam....	3	260,9	412,0	496,7	3	66,0	78,3	153,7	
Cylindre { Diam. = 30 mm. Haut. = 22 mm22	3	267,1	417,7	427,3	3	97,3	128,7	163,3	
Cylindre { Diam. = 20 mm.. Haut. = 2 diam..	3	268,9	410,3	552,0	3	42,0	64,0	120,3	
Cylindre { Diam. = 20 mm. Haut. = 22 mm22	3	232,4	481,3	481,3	3	56,6	56,7	120,0	

TABLEAU

Essais de poinçonnage avec la machine de MM. L. et H. Le Chatelier,

(Poinçon circulaire de 5 centimètres carrés de surface :

DÉSIGNATION DES ÉPROUVETTES.	NOMBRE des ÉPROUVETTES.	RÉSISTANCE À LA TRACTION		
		À 7 JOURS.	À 28 JOURS.	À 84 JOURS.
Demi-briquettes séparées à la traction (Ciment portland pur)	12	29,78 31,67 1,89 6 p. 100	45,62 46,93 1,31 3 p. 100	51,50 53,10 1,60 3 p. 100
Demi-briquettes séparées à la fabrication (Ciment pur)	12	" " " "	" " " "	" " " "
Cylindres (Ciment pur). Diam. = 3 cm Haut. = 2 cm. 22	2	"	"	"
Demi-briquettes séparées à la traction (Mortier 1 : 3)	12	15,00 15,70 0,70 4 p. 100	20,67 21,53 0,86 4 p. 100	26,77 28,37 1,60 6 p. 100
Demi-briquettes séparées à la fabrication. (Mortier 1 : 3)	12	" " " "	" " " "	" " " "
Cylindres (Mortier 1 : 3). Diam. = 3 cm Haut. = 2 cm. 22	2	"	"	"
Cylindres : Diam. = 45 mm. (Ciment pur)	5	" "	" "	" "
Cylindres (Mortier 1 : 3)	5	" "	" "	" "
Cylindres : Diam. = 45 mm. (Chaux du Teil pure)	5	" "	" "	" "
Cylindres (Mortier 1 : 3)	5	" "	" "	" "

N° 4.

faits au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées.

pression totale divisée par 5.)

RÉSISTANCE À LA COMPRESSION			RÉSISTANCE AU POINÇONNAGE			OBSERVATIONS.
à 7 jours.	à 28 jours.	à 84 jours.	à 7 jours.	à 28 jours.	à 84 jours.	
"	"	"	326,5	605,5	781,0	Moyenne des 6 briquettes.
"	"	"	342,5	683,5	840,0	Moyenne des 3 meilleures.
"	"	"	16,0	78,0	59,0	Différence.
"	"	"	5 p. 100	13 p. 100	7 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
			(60)	(75)	(60)	Moyen. } Écart observé entre
			(110)	(140)	(105)	Maximum. } 2 demi-briquettes.
"	"	"	408,5	641,0	682,5	Moyenne des 6 briquettes.
"	"	"	421,7	692,5	745,0	Moyenne des 3 meilleures.
"	"	"	14,0	51,5	62,5	Différence.
"	"	"	3 p. 100	8 p. 100	9 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
			(35)	(50)	(65)	Moyen. } Écart observé entre
			(45)	(100)	(125)	Maximum. } 2 demi-briquettes.
"	"	"	302,5	440,0	600,0	Moyenne des 2 cylindres.
"	"	"	161,0	249,0	294,0	Moyenne des 6 briquettes.
"	"	"	172,5	261,5	326,6	Moyenne des 3 meilleures.
"	"	"	11,5	12,5	32,5	Différence.
"	"	"	7 p. 100	5 p. 100	10 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
			(15)	(20)	(30)	Moyen. } Écart observé entre
			(30)	(50)	(60)	Maximum. } 2 demi-briquettes.
"	"	"	165,0	240,5	311,5	Moyenne des 6 briquettes.
"	"	"	173,5	256,0	328,5	Moyenne des 3 meilleures.
"	"	"	8,5	10,5	17,0	Différence.
"	"	"	5 p. 100	6 p. 100	5 p. 100	Rapport à la moyenne générale.
			(20)	(30)	(25)	Moyen. } Écart observé entre
			(45)	(50)	(60)	Maximum. } 2 demi-briquettes.
"	"	"	52,5	107,5	137,5	Moyenne des 2 cylindres.
284,0	389,6	585,2	268,0	590,0	857,0	Moyenne des 5 cylindres.
(5)	(15)	(29)	(24)	(68)	(34)	Moyenne des écarts individuels.
63,7	92,2	141,0	97,0	149,0	197,0	Moyenne des 5 cylindres.
(7)	(10)	(30)	(32)	(47)	(67)	Moyenne des écarts individuels.
26,0	52,8	125,2	30,2	77,0	188,0	Moyenne des 5 cylindres.
(1,3)	(2)	(3)	(2)	(35)	(24)	Moyenne des écarts individuels.
26,9	46,9	86,4	27,5	55,5	136,0	Moyenne des 5 cylindres.
(1,9)	(1,3)	(2)	(45)	(2)	(6)	Moyenne des écarts individuels.

TABLEAU

Écarts obtenus au laboratoire du Teil avec la machine

Ciments essayés après immersion de	1 MOIS.		2 MOIS.		3 MOIS.		6 MOIS.		9 MOIS.	
	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.
Chaux du Teil pure A.	97	+ 3 + 3 − 7 + 8 − 7 + 3	190	+ 10 − 20 + 10 − 20 + 10 + 10	216	+ 14 + 19 − 6 + 29 − 16 − 36	270	+ 30 0 − 10 − 70 + 55 − 8	328	− 18 − 28 + 12 − 8 + 32 + 12
		5,2		13,3		20		28,8		18,3
		5 p. 100.		7 p. 100		9 p. 100.		10 p. 100.		6 p. 100.
Chaux du Teil pure B.	75	0 0 0 − 5 − 5 + 10	125	+ 5 + 15 + 10 − 10 + 10 − 25	186	+ 4 + 14 + 4 − 16 + 4 − 6	293	+ 7 − 33 − 13 + 27 + 27 − 13	345	− 10 − 15 − 25 + 5 + 25 − 25
		3,3		12		8		20		17,5
		4 p. 100.		9 p. 100.		4 p. 100.		6 p. 100.		5 p. 100.
Chaux du Teil, mortier 1 : 5 C.	32	− 2 − 2 + 3 + 3 + 3 − 2	62	− 2 + 3 + 8 − 2 − 2 − 2	69	− 29 + 11 + 1 + 6 + 6 + 6	110	+ 5 + 5 − 10 + 20 − 10 − 5	133	− 8 − 3 + 7 + 12 − 13 + 7
		2,5		3,2		9,8		9,2		8,3
		1 p. 100.		5 p. 100.		10 p. 100.		8 p. 100.		6 p. 100.
Chaux du Teil, mortier 1 : 5 D.	60,5	+ 10 0 0 − 5 0 0	75,5	0 − 20 + 25 0 + 5 − 5	98	+ 2 + 2 − 8 − 8 + 12 + 2	126	− 6 − 6 + 9 − 11 + 24 − 6	136	− 4 − 1 − 1 − 6 + 1 + 4
		2,5		9,2		5,6		10,3		3,3
		4 p. 100.		12 p. 100.		6 p. 100.		8 p. 100.		5 p. 100.
Ciment de grappier pur E.	497	+ 3 − 27 − 72 + 68 + 68 − 37	714	+ 86* − 14 − 29 − 64 + 66 − 44	750	+ 20 − 5 + 50* + 50* + 40 + 150	800*	Maximum.		
		45,8		50,5		52,5				
		9 p. 100.		7 p. 100.		7 p. 100.				

N° 5.

de MM. L. et H. Le Chatelier (poinçon de 5 centimètres carrés).

1 AN.		1 AN 1/2.		2 ANS.		2 ANS 1/2.		3 ANS.		OBSERVATIONS.
MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	
360	+15	370	+10	381	+ 9	408	+24	408	− 8	
	− 5		+10		−31		−36		−48	
	−10		+ 5		+ 9		+14		+17	
	+45		−60		−21		−66		+22	
	+15		+25		+ 9		+34		+52	
	−60		+10		+24		+34		−33	
	85		20		18		34,6		30	Moyenne des écarts.
6 p. 100.		5 p. 100.		5 p. 100.		9 p. 100.		7 p. 100.		Rapport à la moyenne générale.
396	− 6	352	− 7	388	− 8	386	+14			
	+14		−77		+22		+66			
	+34		+48		−28		− 9			
	−16		− 2		−38		+ 9			
	−76		+23		+32		+14			
	+54		+18		+ 2		+24			
	33,3		29,2		25		22,6			Moyenne des écarts.
8 p. 100.		8 p. 100.		6 p. 100.		5 p. 100.				Rapport à la moyenne générale.
127	− 2	127	+23	140	−10	134	+11	155	+ 5	
	+ 8		+ 3		+10		−14		+15	
	− 2		+ 3		+30		+ 1		−20	
	+ 3		−17		+20		+ 6		0	
	− 7		−17		− 5		− 4		+ 5	
	+ 3		+ 8		− 5		+ 1		− 5	
	4,2		11,8		13,3		6,2		8,3	Moyenne des écarts.
3 p. 100.		9 p. 100.		4 p. 100.		4 p. 100.		5 p. 100.		Rapport à la moyenne générale.
153	− 3	155	+ 5	184	+ 6	185	−20			
	+12		−25		−14		+ 5			
	−13		+20		+16		+15			
	+ 7		−15		+11		0			
	+17		+15		− 4		−15			
	−18		+ 5		−14		+15			
	11,6		14,2		10,8		12,6			Moyenne des écarts.
7 p. 100.		9 p. 100.		6 p. 100.		6 p. 100.				Rapport à la moyenne générale.
										Moyenne des écarts.
										Rapport à la moyenne générale.

TABLEAU

Ciments essayés après immersion de.....	1 MOIS.		2 MOIS.		3 MOIS.		6 MOIS.		9 MOIS.	
	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.
Ciment de grappier pur F.....	520	− 8 −30 +70 −20 − 5 − 5 22,5	669	+71 +31 +76 +51 −159 −69 76,1	775	+25* −35 +25* −45 +15 +15 26,6	800*	Maximum.		
	4 p. 100.		1 p. 100.		3 p. 100.					
Ciment de grappier, mortier 1 : 3 G.....	249	+11 +21 −24 +21 −49 +21 24,5	325	+50 −25 +15 −50 +35 −20 32,5	347	+13 +93 −72 +53 −12 −72 52,5	410	+20 +10 +10 −50 −10 +40 23,3	56	+34 +54 +24 −26 −36 −46 36,6
	10 p. 100.		10 p. 100.		15 p. 100.		5 p. 100.		8 p. 100.	
Ciment de grappier, mortier 1 : 3 H..... ...	256	+14 −26 +14 +14 +14 −26 18	300	+50 +10 −10 −100 +50 0 36,6	346	+34 +34 − 6 −46 +14 −26 26,6	393	−33 + 7 − 3 + 7 +37 −13 16,6	403	+22 −68 +27 −53 −62 +12 40,6
	7 p. 100.		12 p. 100.		7 p. 100		4 p. 100.		10 p. 100.	
Ciment Portland pur I.....	374	−44 −74 +81 +26 −24 +36 47,5	406	+14 −31 −16 −26 +14 +49 25	581	+ 9 −176 −11 +119 +64 − 1 63,3	682	+98 +83 −17 −147 +78 −92 85,8	779	+21* − 4 + 6 +11 −54 +21* 19,5
	13 p. 100.		6 p. 100.		11 p. 100.		13 p. 100.		2 p. 100.	
Ciment Portland (autre provenance).....	676	+99 −16 −146 −71 +44 +94 78,3	665	−55 +45 +50 0 −20 −20 31,6	651	+ 4 −66 +39 − 1 −11 +39 26,6	727	−67 −37 +73 +73 −27 − 2 46,5	778	− 8 +22* −18 +22* −18 − 2 15
	11 p. 100.		5 p. 100.		4 p. 100.		6 p. 100.		2 p. 100.	

Observations. — Les nombres marqués d'un * correspondent à la pression de 800 kg. par centimètre carré, maximum que puissa

N° 5. (Suite.)

1 AN.		1 AN 1/2.		2 ANS.		2 ANS 1/2.		3 ANS.		OBSERVATIONS.
MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	MOYENNE.	ÉCARTS.	
										Moyenne des écarts.
										Rapport à la moyenne générale.
429	+41	430	+70	398	−48	471	+36	446	+ 4	
	−39		−60		+ 2		+139		+64	
	+111		+58		−38		+54		−61	
	−29		−30		+72		−71		−31	
	−19		−40		−18		+ 9		+ 4	
	−64		+10		+32		−71		+24	
	50,5		44,6		35		63,3		31,3	Moyenne des écarts.
12 p. 100.		13 p. 100.		8 p. 100.		13 p. 100.		7 p. 100.		Rapport à la moyenne générale.
447	+18	452	− 2	466	+34	532	+ 3			
	−32		−52		−16		− 2			
	+53		+18		+14		−42			
	−42		− 2		−46		− 2			
	+43		+53		+34		+28			
	−37		−12		−16		+18			
	37,5		23,2		26,6		15,8			Moyenne des écarts.
8 p. 100.		5 p. 100.		3 p. 100.		3 p. 100.				Rapport à la moyenne générale.
741	−161	800*								
	− 71									
	+59*									
	+59*									
	+59*									
	+59*									
	78									Moyenne des écarts.
10 p. 100.										Rapport à la moyenne générale.
785	+15*	850*								
	+15*									
	+15*									
	− 15									
	+15*									
	−45									
	20									Moyenne des écarts.
3 p. 100.										Rapport à la moyenne générale.

teindre la machine. Ils sont donc au-dessous de la résistance réelle.

TABLEAU N° 6.

Comparaison des poinçons de diamètres différents sur les demi-briquettes du modèle ordinaire.

(Pressions ramenées au centimètre carré.)

DÉSIGNATION DES CIMENTS. (Pâtes pures).	DURÉE DE L'IMMERSION.	DIAMÈTRE : 25 MILLIMÈTRES.	DIAMÈTRE : 15 MILLIMÈTRES.	DIAMÈTRE : 10 MILLIMÈTRES.
Chaux du Teil pure	28 jours.	93	127	159
Chaux du Teil, mortier 1 : 5	*Idem.*	34	28,2	31,8
Chaux du Teil pure	6 mois.	283	433	560
Chaux du Teil mortier 1 : 5	*Idem.*	105	186	191
Chaux de Vitry pure	84 jours.	57	51	51
Chaux de Vitry, mortier 1 : 5	*Idem.*	77	85	96
Chaux hydraulique, mortier 1 : 5	6 mois.	102	144	229
Ciment de grappier, mortier 1 : 3	2 mois.	247	339	560
Idem	84 jours.	324	441	605
Idem	*Idem.*	335	526	643
Portland-Grenoble pur	2 mois.	656	963	987
Ciment de laitier pur	7 jours.	94	128	191
Ciment de laitier, mortier 1 : 3	*Idem.*	79	88	121
Idem	84 jours.	250	410	580
Ciment de laitier pur	2 mois.	390	413	656
Ciment naturel à prise prompte pur	*Idem.*	460	532	580
Mélange de grappier et de ciment prompt pur	2 ans.	763	1.149	1.166
Idem	A l'air.	325	481	700

TABLEAU N° 7.

Résultats obtenus au laboratoire des Ponts et Chaussées de Boulogne dans l'écrasement de cubes de 50 centimètres carrés avec la machine Schickert.

DÉSIGNATION DES CIMENTS. (Pâtes pures.)		A.	B.	C.	D.	E.	F.
Cubes cassés par l'opérateur ordinaire; en 6 jours différents à chaque période	Après 15 mois	390	430	275	430	400	430
		365	410	310	390	370	430
	MOYENNE	378	420	293	410	385	430
	Après 18 mois	450	410	300	440	380	370
		390	410	275	410	370	440
	MOYENNE	420	410	288	425	375	405
Cubes cassés en 6 jours différents par un autre employé, opérant pourtant avec soin et ayant aussi l'habitude de la machine	Après 21 mois	455	430	350	305	290	360
		440	430	330	345	300	335
	MOYENNE	448	430	340	325	295	348
Cubes cassés quelques jours plus tard par l'opérateur ordinaire	Après 21 mois	"	"	"	390	350	440
		"	"	"	340	370	410
	MOYENNE	"	"	"	365	360	425
Cubes cassés par l'opérateur ordinaire	Après 24 mois	480	470	330	410	430	350
		460	515	370	395	420	400
	MOYENNE	470	493	350	403	425	375

TABLEAU N° 8.

Comparaison des résistances obtenues au laboratoire de Boulogne avec la machine Schickert en écrasant des cubes et des briquettes superposées.

RÉSISTANCES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ APRÈS EXPOSITION D'UN AN.

DÉSIGNATION DES MORTIERS PLASTIQUES, NON DAMÉS, fabriqués avec divers sables naturels et diverses proportions de ciment.	DANS L'EAU DE MER.			DANS L'EAU DOUCE.			À L'AIR.		
	TRACTION. (Moyenne de 7 briquettes.)	ÉCRASEMENTS des 4 plus fortes briquettes simultanément.	COMPRESSION. (Moyenne de 2 cubes de 50 cm².)	TRACTION (Moyenne de 7 briquettes.)	ÉCRASEMENT des 4 plus fortes briquettes simultanément.	COMPRESSION. (Moyenne de 2 cubes de 50 cm²	TRACTION. (Moyenne de 7 briquettes.)	ÉCRASEMENT des 4 plus fortes briquettes simultanément.	COMPRESSION. (Moyenne de 2 cubes de 50 cm².)
A.	39,1	163	505	40,8	234	510	46,6	249	555
B.	34,3	89	350	39,5	142	390	47,2	233	460
C.	29,1	63	159	29,3	83	169	29,6	91	180
D.	17,3	29	67	14,8	31	65,5	11,8	31	61,5
E.	39,3	126	435	42,9	156	475	39,7	115	455
H.	28,6	92	285	29,8	155	320	39,3	128	305
J.	19,6	31	112,5	18,1	171	125	19,9	60	135
K.	10,5	14	34,5	7,1	20	33	6,4	18	36
L.	41,7	124	490	44,1	164	545	49,5	172	500
M.	36,6	116	365	39,9	175	400	50,5	175	430
N.	26,4	71	159	23,6	80	171	27,1	64	162
O.	16,1	31	61,5	13,9	26	69	11,6	21	69
P.	41,9	126	460	44,5	161	500	38,3	154	405
R.	32,4	102	270	35,0	140	340	32,6	106	270
S.	17,9	53	104	16,8	56	141	16,6	61	130
T.	11,3	16	27	8,4	15	33	7,3	21	43

TABLEAU

Comparaison des résistances obtenues en écrasant les demi-briquettes

Désignation de l'échantillon..	A.			B.			C.			D.		
Nature du mortier.....	Ciment pur.			Ciment pur.			Ciment pur.			Ciment pur.		
Durée de conservation..... (dans l'eau de mer).	4 ans.			4 ans.			12 sem.			12 sem.		
NUMÉRO D'ORDRE de CHAQUE BRIQUETTE.	RÉSISTANCE à LA TRACTION.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Presse hydraulique.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Appareil Schickert.	RÉSISTANCE à LA TRACTION.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Presse hydraulique.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Appareil Schickert.	RÉSISTANCE à LA TRACTION.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Presse hydraulique.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Appareil Schickert.	RÉSISTANCE à LA TRACTION.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Presse hydraulique.	RÉSISTANCE à LA COMPRESSION. Appareil Schickert.
	kg par cm²			kg par cm²			kg par cm²			kg par cm²		
1.....	68,0	9.867 10.001	....	51,5	9.534 10.534	....	55,0	* 6.600 7.400	....	57,0	7.200 7.734	....
2.....	50,0	* 10.201 10.067	....	51,0	* 9.000 ? 7.800	....	30,0	* 7.934 6.534	....	52,0	* 7.534 7.667	....
3.....	50,0	9.467 10.534	....	47,5	10.267 9.867	....	19,5	7.134 6.934	....	50,0	7.267 8.134	....
4.....	67,5	....	9.500 9.950	61,5	....	(7.250) (7.250)	57,5	....	5.250 * 7.000	56,0	....	7.750 7.750
5.....	58,0	....	9.850 7.150	51,0	....	8.250 * 12.000	26,5	....	* 7.750 5.250	54,5	....	7.750 6.750
6.....	46,0	....	* (7.000) 7.250	45,0	....	(6.250) (8.250)	25,0	....	5.750 7.250	49,0	....	7.250 6.750
Moyenne.....	56,6	10.023	8.450	51,3	9.500	8.208	35,6	7.089	6.375	53,1	7.589	7.333
Écart moyen $\sqrt{\frac{\Sigma(E^2)}{5}}$....	9,49	346	1.453	5,63	993	2.002	16,36	526	1.092	3,26	342	191
$\frac{\text{Écart moyen}}{\text{Moyenne}} \times 100$.....	16,8	3,4	17,2	11,0	10,4	24,4	45,9	7,4	17,1	6,1	4,5	6,7

OBSERVATIONS. — * indique la plus grosse des deux demi-briquettes quand la rupture s'est faite en dehors de la section minimum.
( ) indique que l'écrasement n'a pas eu lieu normalement.
? indique une certaine anomalie dans la consistance de la briquette après l'écrasement.

N° 9.

avec la presse hydraulique et avec l'appareil à levier de M. Schickert.

F. Ciment pur. 4 sem.			H. Mortier normal. 4 ans.			J. Mortier normal. 4 ans.			K. Mortier normal. 1 an.			L. Mortier plastique 1 : 3 avec sable naturel. 1 an.		
Résistance à la traction.	Résistance à la compression.		Résistance à la traction.	Résistance à la compression.		Résistance à la traction.	Résistance à la compression.		Résistance à la traction.	Résistance à la compression.		Résistance à la traction.	Résistance à la compression.	
	Presse hydraulique.	Appareil Schickert.		Presse hydraulique.	Appareil Schickert.		Presse hydraulique.	Appareil Schickert.		Presse hydraulique.	Appareil Schickert.		Presse hydraulique.	Appareil Schickert.
kg par cm²			kg par cm²			kg par cm²			kg par cm²			kg par cm²		
65,0	9.067	.....	31,5	4.400	.....	30,5	3.600	.....	28,0	3.467	.....	24,0	1.400	.....
	8.734	.....		5.467	.....		3.400	.....		3.334	.....		1.267	.....
60,0	9.200	.....	30,5	4.267	.....	27,5	3.734	.....	27,5	3.667	.....	20,5	1.333	.....
	6.734	.....		4.734	.....		3.534	.....		3.600	.....		1.333	.....
52,0	8.867	.....	29,0	5.334	.....	25,5	3.534	.....	26,5	3.534	.....	15,5	1.533	.....
	8.000	.....		4.934	.....		3.534	.....		3.534	.....		1.400	.....
62,0	.....	9.450	31,5	.....	4.600	29,5	.....	2.250	30,0	.....	3.425	23,0	.....	1.275
	.....	(8.250)		.....	(4.325)		.....	2.950		.....	3.300		.....	1.300
60,0	.....	(9.250)	31,0	.....	(4.425)	28,5	.....	3.025	27,5	.....	(2.950)	19,5	.....	(1.075)
	.....	(9.250)		.....	(3.700)		.....	2.925		.....	3.500		.....	1.350
57,0	.....	(9.250)	26,0	.....	(3.600)	27,0	.....	3.025	24,5	.....	3.500	19,5	.....	1.200
	.....	8.750		.....	(3.925)		.....	3.550		.....	(3.025)		.....	1.325
59,3	3.434	9.033	29,9	4.586	4.096	28,1	3.556	2.954	27,3	3.521	3.258	20,3	1.377	1.254
4,46	945	449	2,13	484	411	1,8	113	415	1,81	114	222	3,01	90	101
7,5	11,2	4,9	7,1	10,0	10,3	6,4	3,2	14,0	6,6	3,2	6,8	14,8	6,5	8,0

Les résistances à la compression sont les résistances totales obtenues pour chaque demi-briquette.

SUR
LES ESSAIS DE LA RÉSISTANCE
DES MATÉRIAUX
À LA RUPTURE PAR FLEXION.

PREMIÈRE NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. DURAND-CLAYE.

La résistance des matériaux à la rupture s'essaye habituellement aujourd'hui à deux points de vue, par la traction qui donne la résistance à l'arrachement, et par la compression qui donne la résistance à ce qu'on appelle l'écrasement. En ce qui concerne les ciments, c'est aux essais par traction que l'on a le plus souvent recours, et la plupart des cahiers des charges n'en prescrivent pas d'autres. Les Allemands et les Suisses ont cependant une tendance à donner le pas aux essais par compression. Ils estiment que c'est là l'essai concluant, qui détermine la valeur réelle d'un produit. Au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, c'est une règle suivie depuis longtemps de faire simultanément les deux sortes d'essais.

La rupture par compression est facile à réaliser par des procédés simples. Aussi est-ce de cette manière qu'on a expérimenté d'abord la résistance des matériaux. Au siècle dernier on faisait déjà des essais de ce genre, et Rondelet a publié des tables donnant la force portante d'un grand nombre de pierres éprouvées de cette manière avant l'adoption du système métrique des poids et mesures.

L'essai par traction est une conception plus moderne. Vicat l'indique, sans y insister autrement, dans un mémoire sur la résistance des solides publié en 1833. Il y décrit l'appareil primitif qui lui a servi à réaliser l'expérience; on y trouve l'origine de la briquette saisie entre deux mâchoires. J'ignore quel chemin a fait ensuite cette idée. Tout ce que je puis dire, c'est que j'ai trouvé au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, en 1865, des moules pour faire des briquettes de 16 centimètres carrés de section, et une machine d'essai à levier, livrée en novembre 1863 par M. Suc à M. Hervé-Mangon, alors directeur du laboratoire.

On semble avoir perdu de vue une troisième méthode, qui a été employée par Vicat pour ses mémorables expériences, et qui se trouve décrite dans son mémoire magistral de 1818 intitulé : *Recherches expérimentales sur les chaux, etc.* C'est la méthode de rupture par flexion ou en porte à faux.

Vicat fabriquait des barres prismatiques de 4 centimètres de large et de 2 centimètres 1/2 de haut Il les encastrait solidement, et sur la partie libre, à 3 centimètres de l'encastrement,

il ajustait une caisse dans laquelle il faisait couler du sable jusqu'à rupture. Au lieu d'encastrer les barres, il revient au même, et il est plus pratique, de les poser sur deux appuis et de les charger au milieu.

Cette expérience est plus facile à réaliser que la rupture par traction directe, et elle donne lieu à moins d'embarras, pour les raisons suivantes : 1° les éprouvettes sont de simples barres prismatiques, qui exigent des moules moins compliqués, moins coûteux et bien plus faciles à définir; 2° la charge qui détermine la rupture est beaucoup moindre à dimensions égales; les machines d'essai peuvent être plus simples, et les essais plus rapides.

On pourrait donc s'étonner que cette méthode ait été abandonnée, si l'on ne remarquait que l'on s'applique ordinairement à rapporter les charges de rupture à l'unité de surface. Le calcul est des plus simples quand on a rompu une briquette par traction : on divise la charge par la section minimum de la briquette, et l'on s'imagine, sans plus ample examen, que l'on connaît ainsi la limite de résistance de la matière. Il n'en est rien cependant, et chacun sait que cette interprétation ne donne pas la même résistance par centimètre carré pour les mêmes matériaux moulés sous des formes différentes. J'ai eu l'occasion de donner l'explication de ce fait dans un mémoire qui a paru aux *Annales des Ponts et Chaussées*. En discutant les résultats obtenus sur les ciments, j'ai été conduit à présumer que leur résistance réelle dépasse beaucoup celle qui est accusée par le calcul, dans une proportion probablement comprise entre le tiers et la moitié pour les briquettes en 8.

La résistance à la rupture par flexion donne lieu, pour être exprimée de la même façon, c'est-à-dire rapportée à l'unité de surface, à un calcul plus compliqué, basé sur des considérations théoriques qui ne sont pas à la portée de tout le monde. Quelque solidement que soit actuellement établie la théorie de la résistance des matériaux lorsqu'ils restent dans les limites d'élasticité, ses formules ne s'appliquent pas exactement aux efforts poussés jusqu'à la rupture. J'ai reconnu que dans ce cas, en effet, la formule usuelle donne pour la résistance rapportée à l'unité de surface un nombre trop fort, pouvant dépasser la résistance réelle de 20 à 30 p. 100 peut-être. L'erreur est ici en sens contraire de celle que l'on commet dans l'interprétation de l'essai à la traction, mais on peut observer qu'elle paraît relativement moins grande.

L'objection tirée de la plus grande difficulté du calcul est donc sans aucune portée. De quelque manière qu'on s'y prenne, on ne constate jamais la valeur absolue de la résistance intrinsèque des matériaux, mais seulement la valeur comparative des efforts qui rompent des échantillons mis aussi complètement que possible dans les mêmes conditions. Dans toute méthode, on est obligé de fixer de la façon la plus précise ces conditions, et notamment les formes et les dimensions des éprouvettes, ainsi que leur mode d'appui sur les machines d'essai. Ne paraît-il pas préférable d'employer un procédé qui permet de donner rigoureusement ces définitions en quelques mots, plutôt que celui dont les règles compliquées donnent lieu aux difficultés que l'on sait, et n'ont pu être encore formulées nulle part?

On peut ajouter que, si l'on cherche dans les expériences de laboratoire une reproduction plus ou moins fidèle de ce qui se passe en pratique, la flexion (ou le porte à faux) est la cause la plus fréquente de la rupture des matériaux.

Il semble donc que les essais de rupture par flexion pourraient servir de base à une étude comparative de la force des matériaux, et que c'est à tort qu'on ne se préoccupe plus aujourd'hui de cette méthode, malgré l'autorité du grand nom de Vicat.

Je demanderai la permission de rendre compte de quelques expériences que j'ai faites à ce sujet.

J'ai opéré sur des barres prismatiques de ciment de 0 m. 12 de longueur, les unes à section rectangulaire de 0 m. 025 de large sur 0 m. 0245 de haut, les autres à section carrée de 0 m. 02 de côté. Six prismes se fabriquent à la fois dans un moule en forme de gril, composé d'un cadre rectangulaire divisé par cinq cloisons parallèles. Pour obtenir la rupture, on place le prisme sur deux couteaux distants de 0 m. 10; un autre couteau appliqué sur le milieu est tiré par un appareil d'essai. Je me suis servi de la machine ordinaire, mais en adaptant le couteau au deuxième levier, une multiplication des efforts de 1 à 10 suffisant pour rompre le prisme à peu près sous la même charge de plomb qui est nécessaire pour rompre les briquettes avec une multiplication de 1 à 50.

L'expérience a porté sur 79 échantillons de ciments de toute nature, comportant 948 prismes, essayés successivement à 7 jours et à 28 jours. J'ai eu soin de faire et d'essayer simultanément des briquettes en 8 en quantités égales sur les mêmes échantillons. Pour rendre les nombres comparables, les résistances à la traction étant exprimées comme d'habi-

tude en kilogrammes par centimètre carré d'après la formule $R = \frac{T}{S}$, les résistances à la rupture par flexion ont été rapportées aux mêmes unités, d'après la formule connue $R = \frac{3Fl}{2bh^2}$, les quantités T et F représentant les charges de rupture dans les deux cas.

Le tableau des résultats obtenus serait beaucoup trop volumineux pour être annexé à la présente note. J'en ai fait seulement un résumé sommaire, où je n'ai conservé, suivant la règle admise par le cahier des charges de Boulogne, que la moyenne des trois plus fortes résistances observées sur les six éprouvettes de chaque série.

On voit, au premier coup d'œil, que les nombres par lesquels s'exprime la résistance sont beaucoup plus forts à la flexion qu'à la traction. Le rapport est en moyenne 1,92 à 7 jours. et 1,86 à 28 jours, soit en nombre rond 1,9 dans les deux cas. C'est la conséquence d'une remarque faite plus haut: le calcul donne pour la traction un nombre moindre que la résistance réelle, et pour la flexion un nombre supérieur. On se rapprocherait probablement de la résistance réelle en prenant la moyenne des deux résultats.

Pour se rendre compte de la valeur du procédé, il faut examiner si ses indications sont aussi régulières que celles du procédé actuellement en usage. A cet effet, pour chaque série de trois éprouvettes du même échantillon, j'ai calculé l'écart entre le résultat fourni par chacune d'elles et la moyenne des trois. La somme de ces écarts pris en valeur absolue, comparée à la somme des trois résistances, a fait connaître pour chaque échantillon l'écart moyen pour 100 de l'expérience. La moyenne de ces écarts partiels représente l'écart moyen général de tous les essais.

Bien qu'on dût s'attendre à plus d'inégalités dans un procédé encore en voie de tâtonnements que dans une méthode éprouvée et appliquée depuis longtemps, la régularité obtenue de part et d'autre est sensiblement la même. Dans les essais à 7 jours, la traction a conservé une certaine supériorité : l'écart moyen n'a été que de 2,02 p. 100, tandis que pour la flexion il s'est élevé à 2,52 p. 100. Mais, dans les essais à 28 jours, il y a au moins égalité : 2,10 p. 100 contre 2,13 p. 100.

On peut conclure de là que l'essai par flexion, malgré les erreurs inhérentes à tout début, conduit à des résultats à peu près aussi réguliers que l'essai par traction, et ne donne lieu qu'à des écarts de même ordre. Il est même présumable qu'une plus longue pratique ferait ressortir une certaine supériorité en sa faveur.

En rendant compte de ces expériences, mon but n'est pas de proposer la substitution de l'essai par flexion aux autres essais en usage pour constater la résistance des matériaux. J'ai voulu seulement le signaler parmi les méthodes qui peuvent être et ont été réellement appliquées à la mesure de cette résistance.

Si le Comité d'études partage ces vues, il pourrait dès à présent fixer les règles que devraient observer les personnes qui voudraient y recourir.

Ces règles sont extrêmement simples et peuvent se réduire à ce qui suit :

Pour les essais à la flexion, on fera usage de barrettes prismatiques à section carrée de 0 m. 12 de longueur et de 0 m. 02 de côté. Ces barrettes seront appuyées sur deux supports exactement distants de 0 m. 10. L'effort sera exercé sur le milieu de l'intervalle des appuis, à l'aide d'un couteau légèrement arrondi fixé à une machine de traction. La charge de rupture sera multipliée par le coefficient 1,875 qui représente $\frac{3l}{2bh^2}$ avec les dimensions adoptées.

Paris, le 23 mars 1892.

DURAND-CLAYE.

TABLEAUX ANNEXES.

TABLEAU COMPARATIF DES RÉSULTATS OBTENUS DANS LES ESSAIS PAR FLEXION ET PAR TRACTION.

NUMÉROS des ÉCHANTILLONS	RÉSULTATS À 7 JOURS.						RÉSULTATS À 28 JOURS.					
	BRIQUETTES EN 8. (Traction.)			PRISMES. (Flexion.)			BRIQUETTES EN 8. (Traction.)			PRISMES. (Flexion.)		
	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.
	kg.	kg.		kg.	kg.		kg.	kg.		kg.	kg.	
2676...	20,17	0,56	2,77	35,33	0,89	2,53	28,83	1,11	3,85	44,83	0,22	0,50
2665[1]. .	29,33	0,89	3,05	48,17	0,44	0,91	43,17	0,22	0,51	75,67	2,89	3,83
2683...	29,50	1,33	3,73	54,00	0,33	0,61	37,17	2,22	5,96	63,50	1,67	2,64
2695...	17,17	0,22	1,29	37,17	2,22	5,98	30,33	0,22	0,73	52,83	0,44	0,84
2700...	26,83	0,22	0,82	59,67	0,22	0,37	40,50	1,00	2,46	73,00	1,00	1,37
2701[1]. .	"	"	"	"	"	"	43,50	3,00	6,90	73,83	2,78	3,76
2714...	19,83	0,22	1,11	37,33	1,89	5,06	33,50	1,33	3,98	70,00	0,67	0,96
2716[1]. .	14,67	1,11	7,57	29,67	0,44	1,48	25,17	1,11	4,42	50,17	1,22	2,43
2717...	30,00	0,67	2,23	60,67	1,59	2,79	55,83	1,22	2,20	78,50	2,67	3,40
2733...	27,83	0,78	2,80	50,50	2,00	3,96	45,50	1,50	3,30	84,33	2,44	2,89
2751[1]. .	22,33	0,22	1,00	51,17	2,11	4,14	32,67	0,89	2,73	58,50	0,67	1,14
2751[3]...	28,83	0,44	1,52	66,33	0,89	1,34	44,67	1,11	2,49	85,00	2,00	2,35
2759...	23,17	0,22	0,95	44,33	1,59	3,60	38,33	0,44	1,15	69,83	1,44	2,06
2764...	35,67	0,89	2,52	70,33	2,11	3,00	51,17	0,44	0,86	96,33	1,11	1,15
2779[1]...	13,67	0,22	1,61	28,33	0,44	1,56	23,67	0,22	0,93	48,50	0,33	0,68
2779[3]...	13,67	0,22	3,22	26,17	0,89	3,41	12,50	0,33	2,63	23,50	0,00	0,00
2789[1]...	25,00	0,67	2,68	44,00	0,33	0,75	39,83	0,89	2,23	79,33	3,44	4,34
2809...	34,00	0,67	1,97	68,50	3,33	4,61	53,67	2,22	4,13	103,00	2,00	1,94
2843...	33,50	0,00	0,00	68,83	2,11	3,07	48,50	0,33	0,68	89,83	3,78	4,21
2863...	31,83	0,22	0,69	61,17	0,44	0,72	49,00	0,67	1,36	83,83	1,22	1,46
2893[1]...	36,17	0,44	1,21	53,50	0,33	0,61	51,83	0,56	1,08	90,00	1,33	1,48
3013...	29,00	0,00	0,00	52,16	1,45	2,78	37,33	1,56	4,17	59,00	1,33	2,25
3027...	20,83	0,56	2,68	39,07	1,49	3,81	34,50	0,67	1,94	64,37	0,83	1,28
3042...	27,16	0,45	1,66	52,03	0,31	0,60	41,67	0,78	1,87	83,75	1,67	1,99
3050...	29,50	0,00	0,00	59,07	3,11	5,26	41,50	0,33	0,79	77,50	3,33	4,28
3051...	28,50	1,00	3,50	52,80	0,40	0,76	44,33	0,78	1,76	79,07	1,03	1,30
3070...	37,83	0,44	1,16	53,40	0,00	0,00	50,33	0,22	0,43	93,13	2,69	2,89
3077...	22,83	0,78	3,41	41,90	0,80	1,91	40,33	0,78	1,93	82,50	1,27	1,54
3088...	25,33	1,11	4,38	49,03	2,91	5,94	40,00	0,33	0,82	71,60	1,67	2,38
3094...	33,00	0,00	0,00	60,30	2,27	3,76	45,67	0,22	0,48	82,83	2,32	2,80
3100...	23,16	0,22	0,95	42,83	2,04	4,76	31,83	0,22	0,69	60,63	1,02	1,68
3102...	32,67	0,56	1,71	68,48	2,51	3,67	42,33	1,11	2,62	89,10	0,00	0,00
3122...	28,50	0,33	1,15	50,33	0,84	1,67	45,50	1,00	2,19	78,75	0,63	0,80
3129...	35,67	0,44	1,23	63,10	1,67	2,65	58,83	1,44	2,44	116,90	0,40	0,34
3133[1]...	17,00	1,00	5,88	38,77	0,84	2,17	13,67	0,54	3,95	37,50	2,00	5,33
3133[2]...	26,33	0,56	2,12	57,50	0,80	1,39	31,00	0,67	2,16	64,83	1,56	2,40
3133[3]...	20,50	0,33	1,61	45,90	0,00	0,00	28,00	0,00	0,00	54,50	0,00	0,00
3133[4]...	8,73	0,24	2,74	16,67	0,89	5,33	17,83	1,22	6,84	36,50	1,33	3,64
3145...	34,67	1,78	5,13	67,33	3,56	5,28	33,83	0,22	0,60	67,83	1,56	2,29
3146[1]...	4,70	0,00	0,00	8,27	0,18	2,17	5,16	0,38	7,36	9,00	0,00	0,00

NUMÉROS des ÉCHANTILLONS	RÉSULTATS À 7 JOURS.						RÉSULTATS À 28 JOURS.					
	BRIQUETTES EN 8. (Traction.)			PRISMES. (Flexion.)			BRIQUETTES EN 8. (Traction.)			PRISMES. (Flexion.)		
	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.	Moyenne des trois résistances maxima.	Moyenne des écarts.	Écart moyen pour 100.
	kg.	kg.		kg.	kg.		kg.	kg.		kg.	kg.	
3146[2]...	6,13	0,11	1,79	14,83	0,22	1,48	7,53	0,28	3,71	14,63	0,22	1,50
3149...	30,83	0,56	1,81	57,83	0,84	1,45	44,50	2,00	4,49	76,00	1,33	1,75
3157...	13,33	0,22	1,65	25,67	0,84	3,22	29,83	0,78	2,61	59,40	1,67	2,81
3158...	37,00	0,67	1,81	66,23	2,11	3,18	51,50	0,00	0,00	90,50	2,33	2,57
3164[1]...	35,17	0,44	1,25	64,50	2,00	3,10	44,83	1,11	2,47	84,66	0,89	1,05
3164[2]...	46,83	1,11	2,38	71,00	1,67	2,35	45,00	0,33	0,73	83,16	2,11	2,53
3179...	31,17	0,44	1,41	56,67	2,22	3,91	48,16	0,22	0,45	95,33	3,11	3,26
3180...	19,67	0,44	2,23	37,17	0,26	0,70	38,83	0,78	2,00	73,56	2,78	3,78
3183...	28,33	0,22	0,77	57,00	2,67	4,68	40,83	0,56	1,37	77,23	3,98	5,15
3193...	28,83	1,11	3,85	58,00	1,00	1,72	49,33	1,78	3,60	92,07	1,44	1,56
3197[1]...	10,33	0,22	2,13	22,60	0,40	1,77	12,50	0,67	5,36	22,13	1,72	7,76
3197[2]...	11,83	0,22	1,86	22,83	0,22	0,96	12,33	0,44	3,56	20,50	0,00	0,00
3197[3]...	16,50	0,33	2,00	32,83	0,22	0,67	19,83	0,56	2,82	38,23	0,78	2,04
3199[1]...	14,00	0,00	0,00	31,70	1,27	4,00	18,33	1,44	7,85	41,67	0,44	1,05
3199[2]...	8,90	0,13	1,46	21,13	0,82	3,88	9,93	0,38	3,82	21,07	0,09	0,42
3199[3]...	10,67	0,44	4,12	22,50	0,78	2,75	12,50	0,00	0,00	26,13	0,58	2,21
3215...	31,17	1,56	5,00	59,30	2,80	4,72	53,67	1,22	2,27	107,70	3,00	2,78
3217...	7,10	0,13	1,83	15,67	0,31	1,34	25,83	0,56	2,16	55,60	0,93	1,67
3222...	34,17	0,56	1,64	58,80	0,40	0,68	49,57	0,11	0,22	88,00	0,60	0,68
3234...	34,27	0,49	1,43	67,03	0,44	0,66	50,37	1,09	2,16	91,50	1,00	1,09
3241...	36,07	0,64	1,77	76,40	0,27	0,35	52,07	0,56	1,07	97,90	3,27	3,34
3242...	30,93	0,44	1,42	59,13	0,58	1,00	44,83	0,78	1,74	88,67	1,56	1,76
3281...	26,33	0,99	3,76	50,80	0,40	0,77	44,37	1,18	2,67	86,97	3,36	3,86
3284...	35,37	0,42	1,18	78,23	5,38	6,88	59,53	1,02	1,71	109,00	0,47	0,43
3307...	27,23	0,16	0,58	50,20	0,47	0,94	38,33	1,29	3,37	73,87	1,44	1,95
3311...	29,67	0,44	1,48	51,53	0,44	0,85	43,20	0,47	1,09	78,67	0,22	0,28
3312...	31,67	0,42	1,32	57,33	1,89	3,30	44,90	0,73	1,62	80,57	0,42	0,52
3332...	19,07	0,21	1,10	33,17	0,89	2,68	29,10	0,13	0,44	52,83	1,11	2,12
3336...	23,63	0,76	3,21	51,27	0,36	0,70	37,23	0,31	0,83	69,27	1,78	2,57
3356...	21,40	0,33	1,54	44,60	1,27	2,85	35,20	0,73	2,07	71,23	1,82	2,55
3365...	25,73	0,22	0,86	50,20	1,87	3,72	43,16	1,22	2,82	74,27	2,16	2,90
3366...	23,93	1,02	4,26	48,30	2,27	4,70	41,70	0,27	0,64	74,47	1,51	2,02
3384...	23,33	0,84	3,60	46,67	0,56	1,20	32,67	0,22	0,67	62,40	1,60	2,56
3420...	26,33	0,56	2,13	50,73	0,84	1,66	38,43	0,91	2,37	65,93	2,09	3,17
3435...	32,43	0,11	0,34	64,23	2,49	3,88	41,53	0,04	0,09	83,83	1,22	1,45
3443...	32,57	0,22	0,68	64,83	1,44	2,22	41,13	0,69	1,67	79,77	1,58	1,98
3466...	33,37	0,59	1,77	66,07	2,04	3,09	50,27	0,84	1,67	87,60	1,40	1,59
3487...	29,93	0,29	0,97	54,73	1,51	2,76	44,43	0,69	1,55	83,93	1,04	1,20
3519...	26,37	0,91	3,45	48,00	0,80	1,67	41,37	0,24	0,58	75,00	2,33	3,10
MOYENNES	25,52	.....	2,02	48,93	.....	2,52	37,74	.....	2,13	70,26	.....	2,10
	$\frac{48,93}{25,52} = 1,92$						$\frac{70,26}{37,74} = 1,86$					

SUR

LES ESSAIS DE LA RÉSISTANCE

DES MATÉRIAUX

À LA RUPTURE PAR FLEXION.

DEUXIÈME NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. DURAND-CLAYE.

Dans une première note, en date du 23 mars 1892 (page 211), j'ai soumis au Comité une méthode d'essai de la résistance des matériaux, employée autrefois par Vicat, et basée sur leur rupture en porte-à-faux ou par flexion.

Cette méthode me semble présenter sur l'essai à la traction des avantages importants. Les briquettes sont remplacées par des barres prismatiques, dont la forme est des plus simples et se définit par deux nombres, le côté du prisme et la distance des points d'appui. L'appareil de traction peut être plus simple et moins puissant, la charge de rupture étant beaucoup moindre à dimensions égales, et il n'a pas besoin de définitions. J'ai indiqué les résultats d'un millier d'expériences que j'avais faites sur des prismes en pâte de ciment, et j'ai montré que leur concordance était au moins de même ordre que pour les briquettes en 8.

Ma note concluait en proposant d'adopter pour ce genre d'essais des prismes à section carrée de 2 centimètres de côté et de 12 centimètres de longueur, qui seraient posés sur des appuis distants de 10 centimètres et seraient chargés en leur milieu de poids croissants jusqu'à rupture.

Cette idée a paru une nouveauté, bien qu'elle remonte au delà de 1818, date où Vicat a rendu compte de ses expériences. Aussi, dans sa septième séance, en date du 3 juin 1892, le Comité d'études, tout en la prenant en considération, n'a-t-il pas statué, et la question a été simplement ajournée.

La méthode offre à mes yeux une telle supériorité que je demande la permission d'y revenir.

Dans la discussion qui a eu lieu au sein du Comité, il a été fait quelques objections théoriques

auxquelles ma première note avait répondu d'avance; je n'ai pas à revenir là-dessus. Il ne peut entrer dans le cadre de nos travaux d'aborder des développements scientifiques sur la mécanique appliquée. Il me suffira de rappeler qu'aucune des formules que l'on emploie pour calculer la résistance à la traction n'est exacte, c'est-à-dire ne donne directement la valeur de cette résistance, et que le calcul simple adopté dans le cas de la traction directe, en divisant l'effort par la section de rupture, approche même moins de la vérité que les lois de l'élasticité appliquées à des prismes posés sur deux appuis. On obtient beaucoup trop peu dans le premier cas, et un peu trop dans le second.

Pour s'en tenir aux questions pratiques, il en a été posé deux, auxquelles je vais essayer de répondre.

1° *N'y aurait-il pas intérêt à augmenter la distance des points d'appui?*

Je ne vois à cela aucun intérêt et ne saisis même pas bien quels inconvénients on peut reprocher à l'intervalle de 10 centimètres que j'ai adopté.

Si l'on augmente la portée, il faudra nécessairement diminuer la section, afin de se conformer à la règle si sage adoptée par le Comité, suivant laquelle on doit pouvoir fabriquer 6 éprouvettes avec un kilogramme de matière. Mais alors on se heurte à des difficultés de fabrication. Toutes les personnes qui se sont occupées d'essais savent qu'il n'est pas très commode de construire de longues barres étroites, et quelques praticiens ont paru se préoccuper déjà de ce que celles que j'ai proposées soient trop minces.

On y trouverait, il est vrai, l'avantage qu'a fait ressortir M. H. Le Chatelier, que la charge de rupture devenant très faible, il n'y aurait plus besoin d'appareils multiplicateurs pour la mesurer, et qu'on pourrait faire porter aux prismes directement toute la charge, ce qui rendrait l'expérience applicable même sur les chantiers. Seulement, il faut remarquer que la difficulté de fabrication des prismes est un obstacle bien plus sérieux aux essais de chantier que l'emploi d'un appareil, qui s'achète tout fabriqué. Au reste, quand il s'agit de mortiers et non de pâtes de ciment, et c'est seulement sur les mortiers qu'il y aurait intérêt à faire des essais de chantier, la charge de rupture ne s'élève pas au delà du poids qu'on peut couramment appliquer par charge directe.

Une trop petite section serait en outre assez difficilement applicable aux mortiers sableux dont je vais m'occuper maintenant.

2° *La méthode réussit-elle aussi bien avec les mortiers qu'avec les pâtes pures?*

On a objecté que le mortier ne pouvait se lisser aussi bien avec la tranche du couteau que la pâte pure, et que les faces présenteraient des aspérités portant sur les couteaux par des points. Cette objection n'a peut-être pas la valeur qu'on lui attribue, et, en tout cas, elle n'est pas fondée, car ce sont les faces latérales du prisme, celles qui ont été en contact avec les parois des moules et qui sont parfaitement lisses, que l'on doit poser sur les couteaux.

On s'est demandé ensuite si la grosseur des grains de sable ne serait pas un obstacle à la fabrication des prismes, et n'influerait pas sur la résistance.

On ne voit pas *à priori* pourquoi il serait plus difficile de fabriquer des éprouvettes de 2 centimètres de côté que celles de 22 millimètres qui sont en usage, ni pourquoi des grains de sable de grosseur normale influeraient plus sur une expérience que sur l'autre.

Néanmoins, comme ma première note ne visait que les pâtes pures, les seules qui fussent alors en question et sur lesquelles j'eusse des expériences suivies, j'ai dû examiner l'application de la méthode aux mortiers.

M. Feret a bien voulu me communiquer quelques expériences qu'il a faites sur des prismes semblables à ceux que j'ai proposés comparativement avec des prismes de même longueur, mais ayant un côté double et une section quadruple. Il a constaté que, pour les gros modèles, le remplissage des moules a été plus commode et plus régulier, et que les écarts moyens des résistances ont été un peu moindres: 6,65 p. 100 au lieu de 7,92. Mais ces expériences intéressantes ne peuvent conduire à aucune conclusion quant aux essais habituels, attendu que M. Feret ne s'est pas servi de sable normal, mais d'un sable mélangé où entraient des grains de 5 millimètres de côté. On peut s'étonner au contraire que la différence des résultats n'ait pas été plus marquée.

J'ai fait, de mon côté, une série de ruptures sur des mortiers fabriqués soit avec le sable normal artificiel actuellement en usage, soit avec un sable naturel provenant de la plage de Leucate (Aude), tamisé entre les tôles perforées de 2 millimètres et de 0 mm. 5. On n'a pas éprouvé

plus de difficultés à fabriquer avec ces mortiers des prismes que des briquettes. Quant aux résultats, leur concordance a été satisfaisante et même un peu supérieure pour les prismes que pour les briquettes. C'est ce qui résulte du tableau ci-joint, où l'on a indiqué seulement les écarts des résistances des échantillons par rapport à la moyenne de la série dont ils font partie, laissant de côté pour le moment la question des résistances absolues. La moyenne générale des écarts est de 5,76 p. 100 pour les prismes rompus par flexion et de 6,16 p. 100 pour les briquettes rompues par traction directe. Il y a donc au moins équivalence.

Ces exemples sont encore peu nombreux, mais ils suffisent pour faire voir que la rupture par flexion des prismes de mortier se fait dans des conditions aussi normales que celles des briquettes soumises à la traction directe.

Je conclurai en demandant au Comité de vouloir bien décider :

1° Que les essais à la rupture par flexion, au moyen de prismes posés sur deux appuis et chargés en leur milieu, sont indiqués parmi ceux qui peuvent servir à déterminer la résistance des matériaux;

2° Que ces essais doivent se faire à l'aide de prismes à section carrée de 2 centimètres de côté et de 12 centimètres de longueur, posés sur des appuis distants de 10 centimètres.

Paris, le 31 janvier 1893.

DURAND-CLAYE.

TABLEAU ANNEXE.

TABLEAU COMPARATIF

des résultats obtenus dans les essais des mortiers à la rupture par flexion et par traction.

PRISMES (FLEXION)				BRIQUETTES (TRACTION)			
ESSAIS À 7 JOURS.		ESSAIS À 28 JOURS.		ESSAIS À 7 JOURS.		ESSAIS À 28 JOURS.	
Nombre.	Moyenne des écarts p. 100.	Nombre.	Moyenne des écarts p. 100.	Nombre.	Moyenne des écarts p. 100.	Nombre.	Moyenne des écarts p. 100.
Sable normal.				**Sable normal.**			
3	2,82	3	4,01	12	7,85	12	8,14
3	9,78	3	5,95	12	11,05	12	6,20
3	8,33	3	5,00	12	8,98	12	7,29
3	1,30	3	5,13	12	6,57	12	3,98
Moyennes	5,56	.....	5,02	Moyennes	8,61	.....	6,40
Sable naturel.				**Sable naturel.**			
3	2,96	3	7,74	12	5,55	12	5,06
3	2,44	3	11,57	12	5,23	12	5,30
3	8,15	3	8,50	12	6,79	12	5,40
3	5,18	3	4,72	12	4,22	12	6,17
3	8,04	3	4,41	12	7,63	12	3,51
3	4,05	3	6,69	12	2,43	12	4,08
3	8,46	3	2,24	12	4,32	12	3,91
3	4,24	3	0,80	12	7,04	12	3,22
3	0,16	3	5,43	12	9,01	12	8,14
3	15,56	3	2,51	12	7,66	12	5,00
3	11,11	3	4,43	12	6,17	12	3,82
3	6,03	3	6,85	12	11,72	12	5,79
Moyennes	6,36	.....	5,49	Moyennes	6,48	.....	4,95
Moyennes pour les sables quelconques	6,16	.....	5,37	Moyennes pour les sables quelconques	7,01	.....	5,31
ENSEMBLE	5,76 pour 96 essais.			ENSEMBLE	6,16 pour 384 essais.		

SUR

LES APPAREILS MULTIPLICATEURS

POUR MESURER LES VARIATIONS DE LONGUEUR

DES BAGUETTES DE CHAUX ET CIMENT

IMMERGÉES DANS L'EAU DOUCE ET DANS DES SOLUTIONS DIVERSES.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. P. DEBRAY.

Dans sa séance du 6 mai, le Comité d'études a chargé le Sous-Comité[1] de préparer une note sur les conditions à observer pour pouvoir déterminer les variations de longueur de baguettes de chaux et de ciment immergées dans l'eau douce ou dans des solutions diverses, suivant le procédé en usage au laboratoire de l'École nationale des Ponts et Chaussées.

La note que nous avons l'honneur de présenter pour répondre à cette demande du Comité d'études se divisera en quatre paragraphes :

1° Moulage des baguettes;

2° Démoulage des baguettes;

3° Description de l'appareil multiplicateur;

4° Installation des baguettes dans l'appareil multiplicateur.

1° Moulage des baguettes.

Le moulage des baguettes doit se faire sur une table en marbre, entre des règles en fer rabotées dont la longueur doit être légèrement supérieure à la longueur de la table; l'écartement de ces règles doit être assuré au moyen de petits prismes en fer laissant entre eux la distance voulue suivant la longueur des baguettes à confectionner; l'ensemble des règles et des prismes

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

intercalés doit être serré fortement au moyen de deux ressorts en forme de C placés aux extrémités.

Il est bon que la table et les règles en fer soient légèrement grasses, et, à cet effet, on peut les frotter avec un linge sur lequel on a versé quelques gouttes d'huile.

Les figures 1 et 2 ci-dessous indiquent les dispositions usitées au laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées pour confectionner des baguettes de 0 m. 80 de longueur et de section carrée de 12 millimètres de côté.

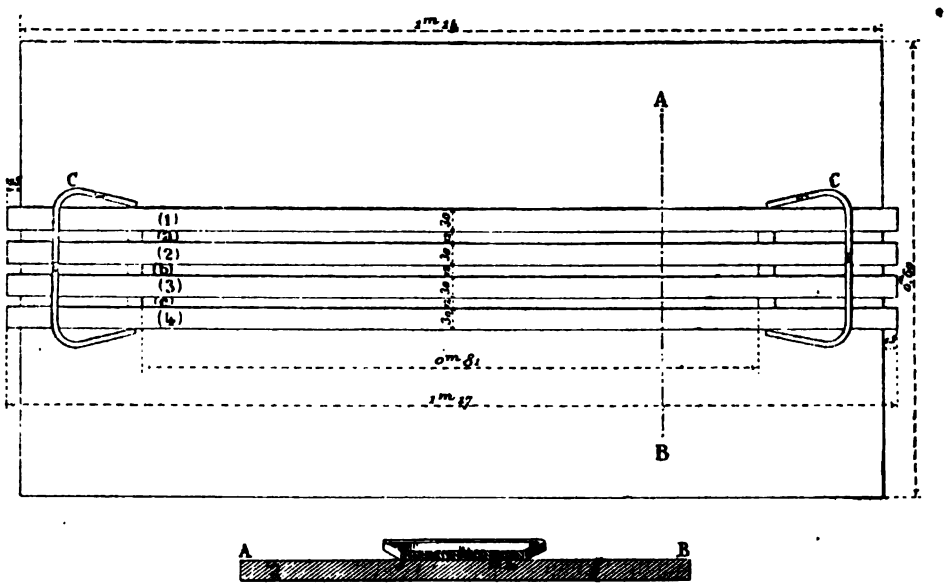


Fig. 1 et 2.

La table en marbre a 1 m. 14 de longueur sur 0 m. 60 de largeur.

Les règles en fer, au nombre de 4, ont 1 m. 17 de longueur, 30 millimètres de largeur et 12 millimètres de hauteur.

Les prismes de séparation, qui ont une section carrée de 0 m. 012 × 0 m. 012 et 20 millimètres de longueur, sont posés à une distance de 0 m. 81 l'un de l'autre.

On opère de la façon suivante :

Après avoir gâché le ciment ou la chaux en pâte plastique comme pour la confection des briquettes d'essai à la traction, on en prend une provision suffisante sur une grande truelle qu'on pose en l'inclinant à environ 45 degrés sur le bord de la règle en avant de laquelle se trouve le vide à remplir, par exemple, sur le bord de la règle (1) quand il s'agit de remplir le vide (a) compris entre les règles (1) et (2). On introduit la pâte entre les règles (1) et (2) en commençant par l'extrémité droite au moyen d'un couteau de peintre, en la comprimant légèrement; l'opérateur se déplace progressivement de droite à gauche en évitant toute interruption dans le remplissage du vide (a). Lorsque l'opération du remplissage est terminée, on enlève l'excès de pâte en passant sur les deux règles (1) et (2) le couteau de peintre appuyé à plat.

Pour obtenir des baguettes aussi homogènes que possible, qui ne se voilent pas en prenant une courbure concave vers l'extérieur, il faut éviter de donner aucune trépidation à la table sur laquelle on opère, il ne faut pas forcer le lissage de la baguette; il importe, d'ailleurs généralement, de recouvrir les baguettes d'un linge humide afin d'éviter que la partie supérieure ne se dessèche.

2° Démoulage des baguettes.

Lorsque les baguettes ont fait prise, on a soin, avant de desserrer les griffes (C), et alors que tout l'ensemble est encore solidaire, de vaincre l'adhérence des règles en fer et des baguettes sur la table de marbre, en exerçant un effort de glissement transversal sur l'ensemble, au moyen des extrémités des règles sans les soulever.

C'est alors seulement qu'on enlève ensuite les griffes, et l'on procède au démoulage de la façon suivante (voir fig. 3) :

On saisit d'abord la règle (1) par ses extrémités qui dépassent la table de marbre et on la fait

tourner légèrement et avec précaution en prenant point d'appui sur la baguette (a) qui se décolle de la règle (1) en restant adhérente à la règle (2); on repousse en avant la règle (1).

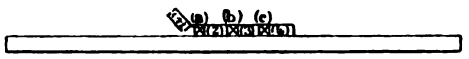


Fig. 3.

On prend ensuite la règle (2) [à laquelle la baguette (a) est restée adhérente] par ses extrémités et on la fait tourner légèrement et avec précaution en prenant point d'appui sur la baguette (b) qui se décolle à son tour de la règle (2) en restant adhérente à la règle (3); on repousse en avant, avec précaution, en la faisant glisser sur la table, la règle (2) à laquelle adhère toujours la baguette (a).

On sépare de même la règle (3), à laquelle adhère la baguette (b), de la baguette (c) qui reste adhérente à la règle (4).

On sépare ensuite la baguette (a) de la règle (2) en faisant tourner très légèrement la règle prise par ses extrémités autour de la baguette (a), servant de point d'appui; on sépare de même la baguette (b) de la règle (3) et la baguette (c) de la règle (4).

Il convient de conserver les baguettes sous un linge mouillé et de les retourner plusieurs fois par jour, par un simple mouvement de rotation, sans les soulever, jusqu'à ce qu'elles aient acquis une dureté suffisante; jusqu'à ce moment, si on a besoin de déplacer les baguettes, il faut approcher au contact une des règles qu'on pousse avec précaution.

3° Description de l'appareil multiplicateur.

L'appareil multiplicateur se compose d'un tube en verre, destiné à recevoir la baguette à expérimenter, ayant 0 m. 80 de longueur et 23 millimètres de diamètre intérieur, muni d'une tubulure soudée à la base. Pour conserver l'eau dans le tube on ferme la tubulure au moyen d'un dispositif très simple; un bout de tube de caoutchouc qui prolonge la tubulure est lui-même fermé par un petit piston en verre soufflé. Quand on retire ce petit piston, l'eau contenue dans le tube de verre s'écoule par la tubulure et par le bout du tube en caoutchouc qui la prolonge.

Appareil multiplicateur.

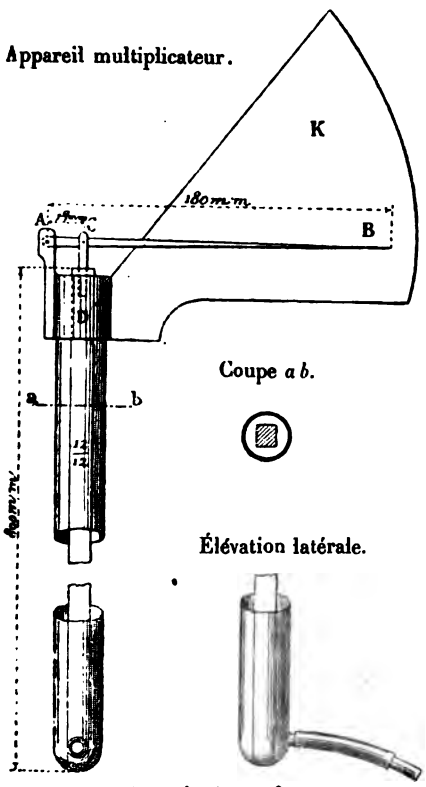


Fig. 4, 5 et 6.

Le tube en verre destiné à recevoir la baguette est entouré à la partie supérieure d'une bague en laiton soudée à chaud à la cire, qui porte d'un côté une tige en cuivre sur laquelle s'articulera une aiguille multiplicatrice ACB et de l'autre côté un segment de cercle K en zinc recouvert d'une feuille de papier pour pointer les positions successives de l'extrémité B de l'aiguille multiplicatrice.

L'aiguille multiplicatrice, articulée en A au moyen d'une goupille sur la tige en cuivre que porte la bague de laiton, entre en C dans une 2e tige en cuivre fendue, scellée dans le bout de la baguette à expérimenter et se fixe dans cette tige au moyen d'une 2e goupille.

L'intervalle AC étant la dixième partie de la longueur totale AB de l'aiguille, les allongements ou raccourcissements (ce dernier cas est très rare) de la baguette à expérimenter se trouvent amplifiés dans le rapport de 1 10 par le déplacement de l'extrémité B de l'aiguille.

4° Installation des baguettes.

Il faut attendre, pour installer les baguettes dans les appareils multiplicateurs, qu'elles aient acquis une certaine dureté; on leur fait alors subir les opérations suivantes:

Tenant la baguette couchée sur la table de marbre qu'elle dépasse seulement de 1 ou

2 centimètres par l'une de ses extrémités, on arrondit cette extrémité à la lime afin que la baguette puisse reposer convenablement au fond du tube de verre dans lequel on doit l'introduire.

Puis on retourne la baguette et on perce à l'autre extrémité, au moyen d'un drille, un trou central destiné à recevoir la tige de cuivre qui commande l'aiguille multiplicatrice. Cette opération, qui est assez délicate, exige le concours de deux opérateurs; l'un maintient la baguette couchée sur la table en l'appuyant avec les deux mains placées à proximité de la tête de la baguette, de manière à s'opposer au glissement de la baguette et à toute déviation sous l'effort du foret que manie le second opérateur : celui-ci doit faire en sorte que le trou soit autant que possible dans l'axe de la baguette.

Lorsque le trou est percé, on mouille l'extrémité de la baguette pour favoriser le scellement ultérieur de la tige de cuivre, qu'on fera comme nous l'indiquerons plus loin.

On saisit alors la baguette d'une main en son milieu et on l'introduit dans le tube de verre qu'on tient à cet effet incliné presque horizontalement; on fait glisser la baguette jusqu'au fond du tube de verre où elle repose convenablement grâce à l'arrondi donné à son extrémité inférieure.

On relève alors le tube contenant la baguette et on scelle au ciment à l'extrémité supérieure de la baguette la tige fendue en laiton dont nous avons parlé plus haut, en ayant soin que l'œil percé dans cette tige pour recevoir la goupille qui la reliera avec l'aiguille multiplicatrice se trouve à une hauteur convenable, à peu près au niveau de l'œil percé dans la tige A.

Pour faire ce scellement, on prend de la fine poussière de ciment ayant passé au tamis de 5.000 mailles par centimètre carré qu'on gâche en pâte assez liquide pour que la tige de laiton puisse se loger facilement dans la pâte.

Il convient d'attendre vingt-quatre heures environ que le scellement soit bien pris pour placer l'aiguille multiplicatrice en la fixant par une 1re goupille à l'extrémité A de la tige de cuivre fixe attenant à la bague de laiton et par une 2e goupille à l'extrémité de la tige de cuivre scellée au sommet de la baguette à expérimenter.

On frappe avec le doigt quelques coups légers sur le tube pour que la baguette descende bien au fond, puis on marque la position du zéro de l'aiguille.

On peut alors commencer l'expérience en versant dans le tube de verre l'eau douce ou la solution dont on veut apprécier l'action sur la baguette à expérimenter.

Paris, le 23 juin 1892.

P. DEBRAY.

SUR

UN RAPPORT DE M. TETMAJER

RELATIF AUX PROCÉDÉS ACCÉLÉRÉS D'ESSAIS

D'INVARIABILITÉ DE VOLUME DES CIMENTS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. H. LE CHATELIER.

Les produits hydrauliques employés dans les travaux se désagrègent à la longue sous des influences multiples; ceux qui résistent le plus longtemps à ces influences sont les meilleurs. Il serait donc important de pouvoir apprécier, dans les essais, le degré de cette résistance.

Les causes de désagrégation sont multiples; les unes ne s'attaquent qu'à des travaux placés dans des conditions spéciales ; telles l'action de l'eau de la mer, celle de la gelée ou celle du soleil; d'autres actions moins énergiques, celles de l'eau et de l'acide carbonique, dangereuses cependant par leur continuité, s'attaquent à tous les travaux sans exception. Ces deux derniers agents, l'eau et l'acide carbonique, qui ont une influence capitale sur le durcissement initial des produits hydrauliques, peuvent à la longue entraîner la ruine de certains d'entre eux, mais seulement de ceux dont la qualité est nettement défectueuse.

Les essais d'invariabilité de volume (nom fort mal choisi d'ailleurs) ont pour objet d'étudier les qualités de résistance des ciments en présence de ces différents agents de destruction. Pour ces essais, on moule généralement le ciment en larges galettes amincies sur les bords. Ces grandes dimensions rendent plus sensibles les altérations et déformations qui se produisent après un certain temps de conservation dans des conditions variées : à l'air, à l'eau douce, à l'eau de mer, au soleil, etc. Les altérations des galettes se manifestent par des désagrégations complètes, ou plus souvent par des gondolements, des fissurations, des soulèvements d'écailles, des verrues, des dilatations permanentes, etc. Mais, en dehors de certains produits exceptionnellement mauvais, ces accidents ne se manifestent qu'au bout d'un temps très long, des mois, ou même des années. Au point de vue des essais de réception, il y aurait un intérêt évident à pouvoir employer des méthodes d'expérimentation plus rapides.

M. Tetmajer propose, pour juger de la résistance des ciments à l'eau douce et à l'air, d'employer des essais à la chaleur qui permettraient, en moins de six heures, d'apprécier la qualité des produits étudiés. L'action de la chaleur, en activant toutes les réactions chimiques, accélère la destruction des ciments qui, à froid, ne se seraient altérés qu'au bout d'un temps plus ou moins long.

Cinq procédés d'essai ont été comparés par M. Tetmajer. Dans tous les cas, les gangues hydrauliques expérimentées étaient gâchées en pâte ferme et placées jusqu'à prise complète

dans une armoire humide. La mise en expérience commençait au bout de vingt-quatre heures si la prise était terminée plus vite, sinon immédiatement après la prise.

Je ferai remarquer immédiatement deux défectuosités graves dans ce mode d'opérer. L'égouttement inévitable des briquettes, quand leur prise s'effectue à l'air, amène une très grande hétérogénéité entre les deux faces supérieure et inférieure. Cet effet est d'autant plus marqué, que la prise est plus lente. Enfin la durée de conservation uniforme de vingt-quatre heures établit une inégalité de conditions très importante entre les ciments, dont les rapidités de prise très différentes peuvent varier de quelques minutes à près de vingt-quatre heures. La résistance au moment de l'immersion, et par suite l'action de l'eau chaude, est très variable d'un cas à l'autre.

1° *Essais à l'eau froide.*—Galettes d'environ 0 m. 010 d'épaisseur et 0 m. 100 de diamètre, à bords non amincis, conservées en expérience pendant trois ans.

2° *Essais à l'air.* —Galettes semblables aux précédentes, conservées dans l'air moyennement humide à température uniforme pendant le même laps de trois années.

3° *Essais au four.*—Galettes semblables, placées sur des supports dans un vase au fond duquel on a mis quelques millimètres d'eau. On chauffe progressivement, de façon à chasser dans un intervalle de trois à six heures la totalité de l'eau, tant celle qui se trouve au fond du vase que celle qui imbibe les galettes. Tant que la totalité de l'eau n'est pas chassée, la température reste fixée aux environs de 95 degrés. On continue encore à chauffer une demi-heure après que le dégagement de vapeur a cessé, de manière à élever la température dans le vase à 120 degrés. Dans ces conditions, l'intérieur des briquettes ne doit guère dépasser 100 degrés.

Je ferai remarquer que ce mode d'opérer peut difficilement être rendu comparable à lui-même. Il est impossible de faire durer l'échauffement un temps rigoureusement égal dans toutes les épreuves. D'autre part, après le départ de l'eau, la température doit être beaucoup plus élevée au fond du vase que vers la partie supérieure.

4° *Essais à la chaleur rouge.*—Une boule de quelques centimètres de diamètre est placée sur un triangle et chauffée à la flamme du gaz. On règle le chauffage de façon qu'après la première demi-heure la température atteigne celle de la main, après la seconde demi-heure la température de 90 degrés. Puis on continue à chauffer jusqu'à ce que le dessous de la boule atteigne le rouge.

Il n'est pas besoin d'insister pour faire voir que ce mode d'essais est bien plus mal défini encore que le précédent.

5° *Essais à la cuisson.*—Des boules sont placées sur une grille, dans un récipient plein d'eau, que l'on chauffe ensuite de façon à le porter en une heure et demie à l'ébullition, et l'on entretient cette ébullition pendant six heures.

De tous les essais à chaud proposés par M. Tetmajer, celui-ci est le seul qui soit effectué dans des conditions définies qu'il soit possible de reproduire en tous lieux identiques à elles-mêmes.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.

Les expériences ont porté sur des ciments portlands, des ciments de laitier, des ciments naturels et des chaux hydrauliques.

Ciments portlands. — Sur 139 ciments étudiés, 2 seulement ont présenté à l'essai à l'eau des traces douteuses d'altération.

Dans l'essai à l'air, 18 se sont altérés complètement, et 7 d'une façon moins marquée. Ces deux premiers résultats confirment le fait connu de la très rare altération des ciments conservés sous l'eau ou dans un sol humide et celui de leur plus facile destruction à l'air libre.

A l'essai de cuisson, 17 échantillons se sont détruits complètement, et 11 se sont seulement fissurés. Tous les ciments mauvais à l'air ont été détruits par l'eau chaude. Mais, tandis que l'altération à l'air n'a commencé parfois à se produire qu'après une année, la désagrégation à l'eau chaude a toujours été complète en moins de six heures. Il paraîtrait, de plus, exister un

certain rapport entre les durées d'exposition à l'air et à l'eau chaude nécessaires pour provoquer l'altération du ciment. Ceux qui se détruisent à l'air en moins de six mois ne peuvent pas résister à quatre heures de cuisson; ceux qui se détruisent à l'air en quelques jours ne résistent pas à deux heures de cuisson. Il faut remarquer cependant que les tableaux de M. Tetmajer ne comportent aucune des données d'observation qui ont permis d'établir de semblables relations.

L'essai au four et l'essai au rouge ont donné des résultats identiques à ceux de l'essai de cuisson.

Cette première série d'expériences démontre d'une façon absolument nette que, pour les ciments portlands, l'essai de cuisson est excellent. Il donne en six heures les mêmes résultats que l'essai à l'air prolongé pendant une année.

Ciments de laitier.— Les 46 ciments étudiés se sont tous bien comportés à l'eau froide. A l'air, 5 se sont altérés profondément, et 15 d'une façon moins marquée. Les résultats à l'air sont d'ailleurs absolument variables avec son degré d'humidité, car ces ciments ne durcissent pas dans l'air trop sec; ils restent friables et se fendent par le simple retrait dû à la dessiccation.

L'essai à la cuisson n'a donné dans aucun cas de désagrégation complète; des fendillements se sont produits sur 5 échantillons, précisément ceux qui s'étaient le plus altérés à l'air.

L'essai au four et l'essai au rouge ont donné moins d'altérations encore que l'essai à la cuisson.

Pour les ciments de laitier, l'essai à la cuisson est encore intéressant, mais il est moins probant que pour les ciments portlands; il ne permet de caractériser que les ciments de laitier qui seront certainement très mauvais à l'air, et pas ceux qui ne sont que douteux.

Ciments naturels. — Ces ciments, les uns à prise rapide, les autres à prise lente, ont été étudiés au nombre de 45. Tous ont été irréprochables à l'eau douce, ainsi qu'à l'air.

Dans l'épreuve à la cuisson, 13 se sont détruits complètement, et 8 se sont fendillés.

Les deux autres modes d'essai à chaud ont donné des altérations à peine moins nombreuses.

M. Tetmajer en conclut qu'aucun des trois modes d'essais à chaud ne convient pour les ciments naturels et propose de ne les soumettre qu'à une cuisson de 50 degrés, qui n'aurait produit la désagrégation d'aucun des ciments étudiés.

Je ferai remarquer que ces résultats sont trop étranges pour être acceptés sans vérifications. Les ciments naturels ont toujours passé pour être plus irréguliers et donner plus de mécompte à l'emploi que les ciments artificiels. Il est difficile d'admettre que, sur 45 échantillons pris au hasard, aucun n'ait présenté de défauts. D'autre part, plusieurs de ces ciments étaient de véritables portlands naturels présentant l'aspect et les propriétés des portlands artificiels; on comprend difficilement qu'un mode d'essai excellent pour l'un de ces produits soit détestable pour l'autre.

Chaux hydrauliques.— Sur 104 chaux étudiées, 10 ont présenté des accidents plus ou moins marqués dans l'essai à l'eau froide et dans l'essai à l'air.

Dans l'essai par cuisson, 30 chaux se sont complètement désagrégées, et 20 se sont fendillées.

Dans les deux autres essais à chaud, les altérations ont été aussi nombreuses que dans l'essai par cuisson, mais elles ont été moins profondes.

M. Tetmajer conclut de ces expériences que les essais à chaud en question ne sont pas utilisables pour les chaux et propose de se contenter, comme pour les ciments naturels, de l'essai par cuisson à 50 degrés.

Je ne considère pas cette conclusion comme absolument légitime. Les altérations à l'eau chaude de chaux qui résistaient bien à l'eau froide se sont surtout produites avec des chaux à prise très lente. Très certainement elles ont été immergées avant l'achèvement de la prise réelle. En laissant durcir à l'air les briquettes, comme cela s'est fait dans les expériences discutées ici, on obtient par égouttage une prise anticipée qui n'est pas la prise réelle. On conçoit que des briquettes trop peu résistantes se soient désagrégées par leur immersion dans l'eau chaude.

Expériences diverses. — M. Tetmajer signale, au cours de son rapport, diverses observations qui méritent d'être rapportées.

Il cite des expériences de M. Bauschinger, desquelles il résulterait que des ciments et mortiers conservés à l'air peuvent à la longue éprouver une diminution marquée de résistance, tandis que les mêmes produits, conservés sous l'eau, ne présentent pas de chutes semblables.

De nombreuses observations semblent indiquer que l'altération des ciments conservés à l'air tient surtout à la présence de chaux libre dont l'extinction, par son gonflement, produit la désagrégation ou le fendillement des galettes. Parfois on reconnaît à la vue simple les fragments de chaux vive, quand ils sont un peu volumineux. D'autre part, le ciment conservé en barils, qui absorbe des quantités très inégales d'eau et d'acide carbonique contre les parois et vers le centre, donne dans les épreuves à l'air et aussi à l'eau chaude des résultats très différents, suivant le point du baril où le ciment a été pris. Enfin, tel ciment qui, dans une première série d'épreuves, n'avait pas résisté se comporte très bien si on le reprend après un séjour de quelques semaines en sac, qui lui a permis d'absorber une petite quantité d'eau et d'acide carbonique.

Enfin il a été reconnu, au cours de ces expériences, que des ciments renfermant des quantités considérables de magnésie (8 et 17 p. 100) se sont comportés d'une façon irréprochable dans des essais prolongés pendant trois ans, tant à l'eau qu'à l'air.

Il résulte de cette étude que l'emploi de l'eau chaude donne des procédés d'essai réellement accélérés, puisqu'ils sont terminés en six heures. Aucun produit hydraulique notoirement mauvais n'échappe à ce mode d'essai. Il resterait à prouver que tous les produits incapables de résister à l'eau chaude sont certainement mauvais. Les expériences de M. Tetmajer laissent encore subsister quelques doutes sur ce point.

Paris, le 2 juin 1892.

H. LE CHATELIER.

SUR

LES ESSAIS DE DÉFORMATION

PAR LES EXPANSIFS.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. H. LE CHATELIER.

BUT DES ESSAIS DE DÉFORMATION.

La destruction des chaux et ciments se manifeste presque toujours par des fissures qui, en s'étendant progressivement dans tous les sens, finissent par en amener la désagrégation complète. Ces fentes sont accompagnées tantôt d'un gonflement, tantôt au contraire d'un retrait, mais dans tous les cas d'un changement du volume apparent de la masse.

Les essais de déformation ont pour objet de reconnaître par des expériences de courte durée la production de ces changements de volume. Des essais semblables, s'il en existait de satisfaisants pour tous les cas, suffiraient presque à eux seuls pour apprécier complètement toutes les qualités des ciments puisque leur ruine est toujours accompagnée de changement de volume. Les principales causes de changement de volume sont les suivantes :

1° Présence des expansifs : chaux et magnésie;

2° Action de la gelée;

3° Action de l'air sec et chaud ;

4° Action des sels de magnésie des eaux de la mer.

Il ne sera question dans cette note, présentée au Sous-Comité [1], que des expériences d'invariabilité de volume destinées à déceler la présence des expansifs.

L'effet produit par la présence de chaux et magnésie libre peut se manifester avec des intensités très différentes. Tantôt la prise initiale est bientôt suivie d'une fissuration dans tous les sens qui désagrège le mortier et le fait tomber à l'état de masse sableuse; tantôt il se produits un certain nombre de fissures isolées qui ne désagrègent pas immédiatement le mortier, mais lui enlèvent néanmoins la majeure partie de sa résistance; sa destruction se complète alors très rapidement sous l'action des agents extérieurs.

Plus souvent encore il ne se produit pas de fentes visibles, mais un gonflement uniforme. Les vides entre les grains de ciment, c'est-à-dire la porosité, augmentent; il se forme, dans ce cas encore, des ruptures internes, mais l'exiguïté de leurs dimensions et leur discontinuité les em-

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

pêchent d'être perceptibles à la vue simple. La résistance du mortier n'est pas extrêmement diminuée. Sous l'eau douce par exemple, dans les conditions où se fait habituellement la conservation des briquettes destinées aux essais de rupture, le ciment, après ce gonflement initial, se conserve indéfiniment sans nouvelle altération. On ne saurait en conclure cependant que ce gonflement soit sans inconvénient pour les emplois pratiques. Même en laissant de côté la dislocation des maçonneries qu'amène un gonflement trop énergique du mortier, l'accroissement de porosité qui accompagne nécessairement tout gonflement est à lui seul très dangereux. La gélivité, la désagrégation à l'eau de mer, sont en effet intimement liées à la porosité. C'est là un fait bien établi par l'expérience.

Enfin pour des proportions moindres d'expansifs il n'y a plus aucun gonflement, mais l'extinction de la chaux ne s'en produit pas moins en développant des tensions internes qui n'amènent que des déformations élastiques du mortier. L'existence de semblables tensions, évidente *à priori*, se manifeste dans les expériences par ce fait que, lorsque l'on fait croître progressivement depuis zéro les principaux facteurs dont dépend le gonflement, c'est-à-dire: la proportion d'expansifs, le temps, la température, la marche du gonflement ne se fait pas d'une façon progressive et régulière. Le gonflement reste tout d'abord nul, il ne commence à se produire que pour certaine valeur des facteurs en question, puis à partir de là se développe brusquement et rapidement. Il y a là une discontinuité analogue à celle qui se manifeste dans l'allongement par traction du fer; sous des efforts croissants il ne se produit d'abord que des déformations élastiques infiniment petites, de l'ordre des dix-millièmes; puis, au moment où la limite élastique est dépassée, le décrochage particulier au fer se produit et les allongements atteignent brusquement plusieurs centièmes.

Le développement de ces tensions internes dans les ciments est-il nuisible ou non? La théorie dit oui, car une masse ainsi tendue exigera pour se désagréger sous l'action de forces extérieures, sous l'action expansive de la gelée par exemple, un effort moindre; mais l'expérience n'a jusqu'ici rien appris sur ce sujet; c'est donc, quelles que soient les indications théoriques que l'on se croit autorisé à formuler, une question discutable.

INFLUENCES DE DIVERSES CONDITIONS SUR LE GONFLEMENT PAR LES EXPANSIFS.

Un grand nombre de circonstances influent sur le gonflement produit par les expansifs; il est indispensable de préciser ces influences avant de chercher à définir la méthode d'essai qui devra être employée pour constater ce gonflement.

La *nature chimique* des expansifs a, en premier lieu, une influence prépondérante. La chaux, la magnésie libre, le mélange de ces deux bases, ont une action très différente comme *rapidité* et comme *intensité* du gonflement.

Voici les résultats d'expériences faites en ajoutant à un ciment portland de bonne qualité 5 p. 100 de son poids de chaux ou de magnésie de l'azotate, qui avaient été chauffés à la température de fusion du fer et passés au tamis de 10.000 mailles par centimètre carré.

La rapidité du gonflement est beaucoup plus grande pour la chaux que pour la magnésie pure.

	RAPIDITÉ DU GONFLEMENT			
	À FROID.		À 100°.	
	Commencement.	Fin.	Commencement.	Fin.
CaO	3 heures.	36 heures.	Immédiat.	1/2 heure.
M_gO	Encore rien après 1 mois.		6 heures.	40 heures.

L'intensité du gonflement est beaucoup plus grande avec la chaux qu'avec la magnésie. Les proportions ci-dessus indiquées amènent avec la chaux la désagrégation complète du mortier, tandis qu'avec la magnésie il y a eu seulement gonflement sans production d'aucune fente apparente.

A poids égal la chaux libre est donc bien plus dangereuse que la magnésie ; celle-ci, par contre, passe plus facilement inaperçue dans les essais usuels, en raison de la lenteur de son action ; aussi, est-elle, pour ce motif, particulièrement redoutable.

L'état *physique* de la chaux et de la magnésie a une influence considérable sur la rapidité avec laquelle leur action se fait sentir et, par suite, sur les effets qu'elles produisent. La chaux et la magnésie obtenues par calcination à basse température, au-dessous de 1.000 degrés, de composés infusibles : carbonate ou hydrate, s'éteignent soit en totalité, soit au moins pour la majeure partie, pendant le gâchage. Dans ce cas, l'influence de ces corps, sans jamais être favorable, n'est que relativement peu nuisible; elle oblige seulement à employer une plus grande quantité d'eau pour le gâchage, ce qui augmente d'autant la porosité. C'est sans doute pour ce motif que certains ciments à prise rapide exigent, pour leur gâchage, deux fois plus d'eau que les ciments portlands. Mais à mesure que la cuisson de la chaux et de la magnésie a été faite à une température plus élevée, et surtout que des composés plus fusibles ont concouru à la production de ces corps, leur extinction devient de plus en plus lente ; s'effectuant en majeure partie après la prise complète, elle amène les dislocations des mortiers signalées plus haut.

Des expériences ont été faites en ajoutant à un ciment portland de bonne qualité 10 p. 100 de chaux ou magnésie provenant de la calcination soit des carbonates, soit des azotates. Dans le premier cas, il n'y a eu ni fente, ni gonflement ; dans le second cas, le mortier s'est complètement désagrégé avec la chaux, a gonflé et s'est fendillé considérablement avec la magnésie. La magnésie, comme la chaux, étaient grossièrement broyées.

La *grosseur* des grains de chaux ou magnésie libre a une grande influence sur leur mode d'action. A poids égal, des matières très fines ne produiront qu'un gonflement sans fissuration, tandis que des matières plus grossières amèneront un fendillement énergique. C'est un fait bien connu qu'un blutage plus soigné des chaux et ciments sujets à fendre suffit pour faire disparaître ce défaut ; de même dans les soulèvements d'écailles sur les galettes d'épreuve, l'examen à la loupe révèle presque toujours, au fond des cratères formés, la présence d'un gros grain dont l'extinction a soulevé l'écaille.

Des expériences faites avec la magnésie ont donné des résultats identiques. En employant de la magnésie de l'azotate passée au tamis de 10.000 mailles par centimètre carré, il n'y a jamais eu des fentes visibles, bien que parfois le gonflement linéaire relatif ait dépassé 10 p. 100. Les fendillements étaient au contraire très accentués avec de la magnésie moins fine.

La *proportion* de chaux ou de magnésie libre a évidemment une influence considérable sur l'intensité des effets obtenus comme le montrent les chiffres ci-dessous.

		ALLONGEMENT RELATIF.	
		À FROID après 1 mois.	À 100 DEGRÉS.
Chaux	1 p. 100	0	1,6 p. 100.
	2 p. 100	1,5 p. 100	6 p. 100.
	3 p. 100	> 5 p. 100	Désagrégation.
	5 p. 100	Désagrégation totale.	Désagrégation totale.
Magnésie	5 p. 100	0	6 p. 100.
	10 p. 100	0	> 10 p. 100.
Dolomie cuite, 5 p. 100		0	4 p. 100.

Toutes les conditions dont l'influence vient d'être étudiée : nature, état physique, proportion de la chaux ou magnésie libre, se rapportent aux expansifs eux-mêmes. Mais l'effet qu'ils produisent est encore grandement influencé par certaines conditions qui leur sont extérieures, telles que la *composition* des mortiers, leur *mode de conservation*, la *température*, la *présence de certains corps étrangers*, comme le chlorure de calcium.

La *composition* des mortiers a une influence marquée, mais de sens non déterminé ; tantôt c'est la pâte de ciment, tantôt le mortier, qui gonfle le plus. Voici quelques chiffres relatifs

à deux échantillons d'un même ciment siliceux naturel. Les gonflements ont été mesurés après vingt-quatre heures de séjour à l'eau bouillante.

	ÉCHANTILLON A.	ÉCHANTILLON B.
Ciment pur	9 p. 100.	3 p. 100.
Mortier 1:3	1,5 p. 100.	12 p. 100.

La raison de ces résultats contradictoires paraît être que la valeur du gonflement tend à croître quand la résistance mécanique du mortier diminue ; elle tend, au contraire, à décroître quand la porosité initiale du mortier est plus grande et offre des vides disponibles pour loger le gonflement de la chaux. On comprend que, de ces deux influences de signe contraire, ce soit tantôt l'une, tantôt l'autre qui l'emporte.

L'emploi d'un excès d'eau dans le gâchage de la pâte de ciment pur réduirait le gonflement.

Ciment à prise prompte	gâché à bonne consistance	3,4	Essai fait à 100 degrés.
	gâché en bouillie liquide	1,6	

La *conservation* à l'eau ou à l'air des briquettes a des effets très différents ; le gonflement est beaucoup plus rapide sous l'eau qu'à l'air. Ainsi un mélange de ciment portland avec 2 p. 100 de chaux d'azotate, grossièrement broyé, a fendu sous l'eau au bout de deux jours, tandis qu'à l'air les fentes ne se sont manifestées que le dixième jour. Voici des expériences faites sur des incuits de ciment portland qui conduisent à la même conclusion.

TEMPS ÉCOULÉ.	GONFLEMENT	
	À L'EAU.	À L'AIR.
0	0	0
1 jour	3,6	1,4
1 jour 4 heures	5,2	2,4
1 jour 8 heures	6,4	3
4 jours	Désagrégé.	4,2

Les gondolements, soulèvements des bords, que l'on observe dans les galettes d'essais conservées à l'air, proviennent de ce que la base inférieure, toujours plus humide, gonfle plus vite que la face supérieure.

Si le gonflement est plus long à se produire à l'air il n'en résulte pas qu'il soit finalement moins important. Il semble au contraire résulter des expériences de M. Tetmajer, analysées dans une note précédente, que des produits douteux dont la tenue est irréprochable à l'eau froide finissent à la longue, mais seulement au bout d'un grand nombre de mois, par s'altérer à l'air. Les expériences rapportées ici n'ont pas été poursuivies assez longtemps pour donner aucune indication sur ce dernier point.

La *température* a une influence énorme sur le gonflement de la chaux et de la magnésie ; elle l'amplifie et l'accélère considérablement. Ce sont là deux conditions particulièrement favorables pour l'institution des méthodes d'essai ; aussi le rôle de la température a-t-elle été l'objet d'une étude détaillée. Les expériences rapportées dans le tableau ci-joint ont été effectuées en laissant la prise s'effectuer sous l'eau et en immergeant les briquettes dans l'eau bouillante aussitôt la fin de la prise. Ce dispositif expérimental employé qui sera décrit plus loin ne permettait pas de suivre le gonflement au delà de 5 à 6 p. 100. C'est le motif de l'interruption des observations pour un certain nombre de produits avant que le maximum du gonflement soit atteint. Le degré de précision de la méthode employée ne permettait pas de constater avec certitude les gonflements inférieurs à 0,2 p. 100. Les guillemets indiquent l'absence d'observations.

DE L'INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE SUR LE GONFLEMENT.

	EAU FROIDE.					EAU BOUILLANTE.				
	1 JOUR.	2 JOURS.	4 JOURS.	8 JOURS.	28 JOURS.	15 MINUTES.	1 HEURE.	4 HEURES.	1 JOUR.	4 JOURS.
Ciment portland de très bonne qualité; grosse mouture, ancienne fabrication. — Prise : 1/2 heure..	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Idem + 1 p. 100 CaO de l'azotate, surcuite à la température de fusion du fer (1.500°) et passée au tamis de 10.000 mailles..	0	0	0	0	0	0,2	1,5	1,5	1,5	1,5
Idem + 2 p. 100 *idem*	0,1	"	0,9	1,1	"	5,2	7	Désagrégé.		
Idem + 3 p. 100 *idem*	0,2	"	4,7	Désagrégé.		5	Désagrégé.			
Idem + 5 p. 100 *idem*	"	7,4	Désagrégé.			6	Désagrégé.			
Idem + 5 p. 100 MgO traitée comme la chaux	0	0	0	0	0	0.1	0,2	0,3	5,2	6,3
Idem + 10 p. 100 *idem*. [1]	0	0	0	0	0	"	1,5	5	10	"
Idem + 5 p. 100 dolomie à 6 p. 100 d'argile calcinée à 1.500°	0	0	0	0	0	0,6	3,2	3,7	"	"
A. Ciment portland de roches grises. (Incuits)	3,5	6	Désagrégé.			6	Désagrégé.			
Idem après addition de 4 p. 100 d'eau et chauffage vingt-quatre heures à 100°	0	0	0	0	0	0,5	0,6	1,1	"	"
B. Autre ciment de roches grises	0	0	0	0	0	"	3	4	4	"
Idem après addition de 2 p. 100 d'eau et chauffage vingt-quatre heures à 100°	0	0	0	0	0	0,2	0,2	0,4	0,4	"
Idem gâché avec une solution de CaCl : 40 grammes par litre	0	0	0	0	0	"	0,8	1,1	"	"
D. Ciment prompt naturel	0	0	0	0	0	0	1,5	3,4	3,4	3,4
Idem après addition de 2 p. 100 d'eau et chauffage vingt-quatre heures à 100°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Idem gâché avec CaCl à 40 grammes par litre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E. Ciment demi-lent naturel	0	0	0	0	0	0	0,2	0,6	0,6	"
Idem après addition de 2 p. 100 d'eau et chauffage vingt-quatre heures à 100°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grappiers broyés sans extinction	0,6	1,2	4,6	Désagrégé.		0,7	2,8	4,2	Désagrégé.	

Ces essais montrent que par l'eau bouillante on peut déceler des quantités de chaux et de magnésie très faibles qui, dans les essais à froid, auraient, tout au moins, dans le délai d'un mois, passé inaperçues. La durée suffisante pour les essais à l'eau bouillante est de quatre heures quand il s'agit de reconnaître la chaux seule ou la chaux mêlée à la magnésie, et de vingt-quatre heures pour la magnésie libre isolée. Mais ce dernier cas ne semble pas pouvoir se rencontrer dans les ciments; l'essai de quatre heures serait donc, dans tous les cas, suffisant; on pourrait, pour plus de sécurité, le prolonger jusqu'à six heures, comme l'a proposé M. Tetmajer.

La question capitale qui se pose ici est de savoir si, réciproquement, de ce qu'un ciment ne résiste pas à l'essai à chaud, on est autorisé à en conclure la présence de chaux ou magnésie libre; de plus, est-il certain que ce défaut de résistance à chaud soit l'indice d'un défaut de qualité? Il n'est pas impossible *à priori* que certains composés tels que aluminate basique de chaux, sulfo-aluminate de chaux, qui seraient susceptibles de faire prise à froid et de concourir, par suite, d'une façon utile au durcissement, s'éteignent au contraire en gonflant dans l'eau bouillante. Les expériences de laboratoire n'ont jamais jusqu'ici rien révélé de semblable, mais les

[1] Le gonflement à froid a commencé à se manifester au bout de six mois et, à partir de ce moment, a marché très rapidement.

fabricants de ciment sont unanimes à déclarer que certains produits de qualité incontestable, qui ont fait leurs preuves dans les travaux, ne résistent pas à ce mode d'essai.

Des échantillons de ciments semblables ont été demandés à deux usines fabriquant, l'une des ciments portlands artificiels, l'autre des ciments naturels. Ils sont désignés dans le tableau, les premiers par les lettres A, B et les seconds par les lettres D, E.

Les ciments A, B proviennent de la mouture de roches grises qui, sans être tout à fait incuites, n'ont pas cependant l'aspect normal des roches de ciment portland bien cuites. Sur les trois échantillons, l'un A gonflait déjà énormément à froid; la présence d'une grande quantité de chaux libre résultant d'un défaut de cuisson ne saurait être contestée. Le second B seul pourrait rentrer dans la catégorie de produits recherchés. A froid, au bout d'un mois, il n'a pas présenté trace de gonflement; à chaud, au contraire, il a rapidement gonflé. Les expériences suivantes ont été faites pour rechercher la cause de ce gonflement anormal.

Pour rechercher si le gonflement à l'eau chaude ne devait pas, pour ce produit comme pour le précédent, être attribué à la chaux, on a fait les expériences suivantes :

Le ciment B fut gâché avec une dissolution de CaCl à 40 grammes par litre, qui a la propriété, comme l'a établi M. Candlot, de rendre l'extinction de la chaux complète avant la prise. Les briquettes immergées après prise dans l'eau bouillante ont présenté un gonflement 4 fois moindre que gâchées à l'eau pure.

Dans une seconde expérience, le ciment B fut additionné de 2 p. 100 de son poids d'eau, enfermé dans un flacon bouché à l'émeri et chauffé pendant vingt-quatre heures à 100 degrés, ce qui paraît suffisant pour assurer l'extinction à peu près complète de la chaux. Le ciment ainsi traité fut soumis à l'action de l'eau bouillante et il n'y eut qu'un gonflement très faible.

Ces deux faits rapprochés de ce que ce ciment a été obtenu par une cuisson insuffisante, dans des conditions semblables à celles du ciment A, prouvent d'une façon indéniable que le gonflement du ciment B à l'eau chaude est bien dû à la présence d'une petite quantité de chaux libre.

Le ciment prompt naturel D fut soumis aux mêmes épreuves.

Gâchées avec une solution de CaCl à 40 grammes par litre ou gâchées à l'eau douce après extinction au moyen de 2 p. 100 d'eau, les briquettes immergées à l'eau bouillante n'ont présenté aucun gonflement. Si l'on rapproche ce fait de ce que le ciment à prise demi-lente obtenue par une cuisson plus complète du même calcaire ne gonfle, pour ainsi dire, pas à l'eau chaude, on peut affirmer que dans ce cas encore le gonflement est dû à la présence de chaux libre.

Il faut ajouter que dans le cas des ciments à prise rapide, dont le durcissement initial est principalement dû aux aluminates de chaux, l'effet de l'action de l'eau bouillante est encore exagéré parce qu'en détruisant en partie les hydrates des aluminates la chaleur diminue brusquement la résistance du ciment et facilite ainsi le travail de désagrégation de la chaux. Cette chute brusque de résistance se manifeste très nettement en immergeant les briquettes un quart d'heure [1] seulement dans l'eau bouillante, comme le montrent les chiffres suivants :

	RÉSISTANCE À L'ÉCRASEMENT DE CYLINDRES DE 30 MM. DE DIAMÈTRE. Après vingt-quatre heures :	
	Froid.	Froid et 15′ à 100°.
	kg.	kg.
Ciment gâché à l'eau douce	300	100
Ciment D gâché avec CaCl	600	100

Il résulte donc de l'ensemble de ces expériences que l'essai de gonflement à l'eau bouillante permet de conclure avec certitude la présence de chaux ou magnésie libre dans les ciments.

Mais elles laissent en suspens la question de savoir si des proportions d'expansifs trop faibles pour provoquer à froid et à bref délai le gonflement du ciment doivent ou non être considérées comme dangereuses. C'est en suivant la tenue dans les travaux de semblables ciments que l'on arrivera plus tard à être fixé.

[1] Ce mode d'action de l'eau chaude signalé par M. Alexandre pourrait sans doute être utilisé dans les recherches sur la constitution des différents produits hydrauliques.

Le temps qui s'est écoulé entre la fin de la prise et le moment où l'immersion est faite a certainement une influence, mais elle est beaucoup moins grande qu'on ne pourrait être tenté de le supposer; ce n'est qu'au bout d'un temps relativement très long que l'eau chaude cesse d'avoir une action.

Voici quelques résultats d'expériences à l'appui des indications données ici.

		EAU CHAUDE.		
		15 minutes.	1 heure.	4 heures.
D. Ciment prompt naturel	Immergé aussitôt la prise, soit 10 minutes après le gâchage.....	"	1,5	3,4
	Immergé 48 heures plus tard.....	1,3	4,0	"
	Immergé 30 jours plus tard.....	0	0	0
Ciment portland additionné de 5 p. 100 de dolomie calcinée.	Immergé après la prise qui s'est faite en 1 heure.....	0,6	3,2	3,9
	Immergé 2 jours plus tard.....	1,7	3,4	3,4
	Immergé 4 jours plus tard.....	0,5	1,5	2,8

La conclusion de ces expériences est que pour les essais à l'eau bouillante on peut se contenter de faire l'immersion dans les vingt-quatre heures qui suivent la prise complète sans s'astreindre à choisir exactement le moment de cette prise.

La rapidité d'élévation de température n'a généralement pas d'influence appréciable sur le gonflement; dans la plupart des cas celui-ci est le même, que les briquettes soient immergées brusquement dans l'eau bouillante ou mises dans de l'eau froide que l'on échauffe progressivement. Cependant, pour certains ciments éventés, l'immersion dans l'eau bouillante donne un gonflement plus marqué.

	ÉCHAUFFEMENT BRUSQUE.		
	15 minutes	1 heure.	4 heures.
Ciment rapide éventé.....	0	0,4	0,4
Ciment portland éventé (poussières lourdes).....	0	0,2	0,4
	ÉCHAUFFEMENT LENT.		
	15 minutes.	1 heure.	4 heures.
Ciment rapide éventé.....	0	0,2	0,2
Ciment portland éventé (poussières lourdes).....	0	0	0

Il semble donc préférable, dans tous les cas, d'employer un échauffement progressif.

L'influence de la présence du *chlorure de calcium* dans l'eau de gâchage du ciment ou dans l'eau de conservation des briquettes est, à certains points de vue, analogue, comme l'a depuis longtemps montré M. Candlot, à l'influence d'une élévation de température. La présence de ce sel active considérablement l'extinction de la chaux, d'autant plus que la solution est plus concentrée. Par contre, elle ralentit au contraire la prise, surtout pour les produits à prise rapide qui sont riches en aluminate de chaux.

Il résulte de ces propriétés du chlorure de calcium que, suivant son mode d'emploi, il peut diminuer ou exagérer le gonflement dû à la chaux.

En gâchant le ciment avec une solution de chlorure de calcium suffisamment concentrée, on empêche tout gonflement en rendant l'extinction de la chaux complète avant la fin de la prise. La teneur en chlorure de calcium nécessaire varie de 20 à 60 grammes par litre suivant la nature du ciment, la proportion de chaux qu'il renferme et surtout son degré de finesse.

En employant une solution un peu moins concentrée, insuffisante pour assurer une extinction totale de la chaux avant prise, on réduit l'importance du gonflement, mais parfois on l'accélère, parce que l'action du chlorure de calcium n'est pas terminée avant la prise et achève l'extinction peu de temps après la prise.

Voici quelques chiffres :

	GONFLEMENT À L'EAU FROIDE.		
	15 minutes.	1 heure.	4 heures.
D. Ciment prompt Dauphiné gâché à l'eau pure	"	1,5	3,4
— — solution à 20 g. de CaCl	"	2,1	2,1
— — solution à 40 g. de CaCl	0	0	0
	GONFLEMENT À L'EAU BOUILLANTE.		
	1 jour.	2 jours.	4 jours.
Portland + 3 p. 100 CaO d'azotate gâché à l'eau pure	0,2	"	4,7
— solution de CaCl à 20 g.	3,9	5,4	"
A. Ciment de roches grises gâché à l'eau douce	3,5	6	désagrégé.
— gâché avec 20 g. CaCl	"	2	"

En employant au contraire le chlorure de calcium dans l'eau de conservation des briquettes après les avoir gâchées à l'eau douce, on augmente un peu et on accélère toujours beaucoup le gonflement dû à la chaux; l'action est nulle sur la magnésie libre. Le tableau ci-dessous résume quelques expériences comparatives faites sur des ciments gâchés à l'eau douce et conservés dans de l'eau douce froide, de l'eau chaude et une dissolution de chlorure de calcium à 40 grammes par litre :

	EAU DOUCE.			CaCl.			EAU CHAUDE.		
	1 jour.	4 jours.	28 jours.	1 jour.	2 jours.	4 jours.	15 minutes.	1 heure.	4 heures.
Ciment portland + 3 p. 100 CaO d'azotate calciné à 1.500 degrés	0,2	4,7	"	4	5,2	"	5	Désagrégé.	
Ciment portland + 5 p. 100 de dolomie surcuite.	0	0	0	0	0	0	0,2	3,2	3,7
B. Ciment portland de roches grises	0	0	0	0,2	0,3	"	"	3	4
Ciment portland + 1 p. 100 de chaux d'azotate	0,1	0,9	"	0,8	1,9	2,1	5,2	7	Désagr.

L'effet du chlorure de calcium, nul sur la magnésie, est beaucoup plus faible sur la chaux que l'élévation de température. D'autre part on ne peut, pas plus que pour la température, affirmer expérimentalement qu'un produit ne résistant pas à cette épreuve, sans pourtant gon-

fier dans l'eau douce froide, doive être considéré comme mauvais. Dans ces conditions, il ne semble pas y avoir lieu de recommander l'usage du chlorure de calcium dans les épreuves de déformation.

MÉTHODE EXPÉRIMENTALE D'OBSERVATION.

Le seul procédé employé jusqu'ici pour les essais de déformation est celui des galettes dans lequel on observe la production de fentes ou soulèvement d'écailles, ou de gondolements. D'après les expériences rapportées plus haut, ces phénomènes ne sont que la conséquence indirecte du gonflement; ils dépendent pour une grande part de la finesse de mouture du ciment, des inégalités d'humidité d'un point à l'autre des briquettes. Ces phénomènes peuvent ne pas exister avec des gonflements énormes atteignant 10 p. 100 en longueur, soit 30 p. 100 en volume. On ne pourrait employer à aucun usage un ciment gonflant de 1 décimètre par mètre, et pourtant un semblable ciment pourrait satisfaire à l'essai des galettes immergées, sinon indéfiniment, au moins pendant plusieurs mois. Un semblable essai ne saurait donc être recommandé.

Le seul procédé rationnel pour reconnaître le gonflement d'un ciment est de le mesurer directement et non pas d'en observer seulement une conséquence plus ou moins lointaine. Différents procédés peuvent être employés dans ce but. MM. Durand-Claye et Debray emploient depuis longtemps à l'École des Ponts et Chaussées un procédé semblable qui consiste à mesurer, après amplification par un levier, l'allongement de longues baguettes de ciment. Ces expériences ont déjà fait l'objet d'une note imprimée dans les pièces de la Commission des méthodes d'essai, à laquelle on devra se reporter pour la description du mode opératoire. Ce procédé présente une très grande précision, puisqu'il permet de constater des variations de longueur de 1/10.000, c'est-à-dire de l'ordre de grandeur de la dilatation thermique ou élastique. Cette méthode, excellente pour des expériences de recherches, est beaucoup trop délicate pour des essais pratiques.

Le procédé suivant, d'un emploi beaucoup plus simple, conduit à des résultats d'une précision un peu moindre, mais est encore largement suffisant pour atteindre le but poursuivi. La pâte normale de ciment est enfermée dans des moules cylindriques de 30 mm. de diamètre et 30 mm. de hauteur, faits avec un métal de 0 mm. 5 d'épaisseur et fendus suivant une génératrice. L'ouverture du moule suivant cette génératrice donnera la mesure du gonflement; pour amplifier cette ouverture, deux aiguilles de 150 mm. sont soudées de part et d'autre de la fente. Grâce à cette disposition, le déplacement relatif des pointes des deux aiguilles semble se rapprocher du gonflement linéaire qu'éprouverait un bloc de ciment ayant 0 m. 60 de dimension; cette relation résulterait de quelques mesures de comparaison directes. Pour empêcher l'ouverture du moule pendant le remplissage, on doit réunir les deux aiguilles par une cale que l'on n'enlève qu'après la fin de la prise. Il est indispensable, surtout pour les produits à prise très lente comme les chaux dont l'eau s'évaporerait ou s'égoutterait à l'air, de les immerger aussitôt moulés, sans attendre la prise. On peut le faire sans craindre aucun délavage en ayant soin de poser les moules sur une plaque de verre, et de les recouvrir d'une seconde lame de verre. On transporte les moules aussitôt remplis et enfermés entre ces deux plaques de verre, dans une cuve remplie d'eau. Aussitôt la prise terminée sous l'eau, on enlève les plaques ainsi que les cales des aiguilles et l'on commence les mesures. Cette précaution de laisser le ciment durcir sous l'eau est motivée par deux raisons : la première est que la prise à l'air qui dépend dans une large mesure de l'égouttage n'est pas la prise véritable et en diffère très inégalement pour différents produits. Ainsi, tandis que pour les chaux la prise à l'eau est trois fois plus lente que la prise à l'air, la différence est à peu près nulle pour les ciments de laitier. En outre, l'imbibition par l'eau d'une masse poreuse plus ou moins sèche amène un certain gonflement de la masse qui peut même aller jusqu'à la désagrégation pour les produits insuffisamment hydrauliques. Cette précaution d'effectuer le durcissement sous l'eau est surtout indispensable pour les essais à l'eau chaude. C'est pour avoir laissé durcir ses galettes d'épreuves à l'air que M. Tetmajer avait été conduit à penser que l'essai à l'eau chaude était sans valeur pour les chaux.

On peut se demander si le gonflement mesuré par ce procédé et par celui des longues

baguettes de MM. Durand-Claye et Debray a la même valeur. S'il s'agissait simplement de dilatation analogue à la dilatation thermique, c'est-à-dire s'effectuant également dans toutes les directions, il devrait nécessairement en être ainsi. Mais le gonflement est le résultat d'une infinité de petites ruptures qui peuvent se produire inégalement dans les diverses directions. Il semble *à priori* que ces ruptures doivent se produire dans les directions de moindre résistance, c'est-à-dire se produire normalement aux surfaces libres en se propageant de l'extérieur vers l'intérieur. S'il en est réellement ainsi, le gonflement relatif sera plus important dans les directions de moindre épaisseur. Une baguette mince devrait proportionnellement s'allonger moins dans le sens de la longueur que transversalement. Les expériences ci-dessous poursuivies dans le but d'élucider cette question montrent qu'en fait les différences d'une direction à l'autre sont peu importantes.

BAGUETTE RECTANGULAIRE DE 120 MM. DE LONGUEUR ET DE 10 MM. DE LARGEUR.			CYLINDRES DE 30 MM. DE HAUTEUR ET 30 MM. DE LARGEUR.
		p. 100.	p. 100.
Ciment additionné de 5 p. 100 de MgO et immergé à l'eau bouillante	Longueur	3,3	6,2
	Largeur	3,1	
Ciment additionné de 1 p. 100 CaO et immergé dans l'eau bouillante	Longueur	1 17	1,5
	Largeur	1,4	

Dans le cas des cylindres, la résistance de l'enveloppe métallique suffit, malgré son élasticité, pour rendre le gonflement perpendiculaire à l'axe moitié moindre que dans la direction de l'axe. Les chiffres donnés dans les tableaux représentent le gonflement moyen.

Les mesures de gonflement faites par cette méthode donnent des résultats suffisamment concordants comme le montrent les chiffres suivants :

		15 minutes.	1 heure.	4 heures.	1 jour.	REMARQUES.
Ciment prompt naturel placé dans l'eau bouillante.	A	0	1,5	3,4	3,4	Immergé brusquement dans l'eau bouillante aussitôt la prise.
	B	0,2	3,2	3,4	3,2	
	C	0	2,8	3,4	3,4	Immergé dans de l'eau froide aussitôt la prise.
	D	2	3,4	4,2	4,2	Gâché un peu ferme et immergé vingt-quatre heures après la prise.
	F	0,2	2,6	4	4	

CONCLUSION.

L'essai de galettes gâchées à l'eau douce n'a d'intérêt que par les indications qu'il peut donner sur le gonflement. Il semble préférable de mesurer directement ce gonflement, ce qui peut se faire sans difficulté.

L'essai normal de déformation destiné à rechercher la présence des expansifs se fera par l'emploi de l'eau bouillante.

Il portera sur la pâte normale de ciment gâchée à l'eau douce qui sera immergée dans l'eau douce froide aussitôt après son moulage. Une fois la prise terminée sous l'eau et dans un délai qui n'excédera pas vingt-quatre heures au delà de cette prise, la température sera élevée progressivement à 100 degrés en un temps qui ne devra pas être inférieur à un quart d'heure ni supérieur à une demi-heure. La température de 100 degrés sera maintenue pendant six heures consécutives, et on laissera ensuite refroidir les briquettes jusqu'à la température ambiante pour faire les mesures finales.

L'importance du gonflement sera mesurée dans les moules mêmes où la pâte aura été renfermée. Ces moules auront la forme de cylindres de 30 millimètres de diamètre et 30 millimètres de hauteur; ils seront faits avec un métal mince d'une épaisseur voisine de 0 mm. 5 ; ils seront fendus suivant une génératrice et porteront, soudées de chaque côté de la fente, deux aiguilles pointues de 150 millimètres de longueur.

Tout déplacement relatif des pointes des aiguilles inférieur à 1 millimètre sera considéré comme nul, parce qu'il n'excède pas les erreurs possibles d'expériences.

Paris, le 20 décembre 1892.

H. LE CHATELIER.

SUR

LA DÉFORMATION DES PÂTES DE CIMENT

PAR

L'IMMERSION DANS L'EAU FROIDE ET DANS L'EAU CHAUDE.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. LE COMMANDANT RIBAUCOUR.

Pour répondre au désir exprimé par le Sous-Comité[1] de la Section B, nous donnons ci-après les résultats des épreuves de déformation qui ont été faites parallèlement sur divers ciments au laboratoire militaire de Boulogne-sur-Mer :

d'une part, sur des galettes de 0 m. 05 de diamètre et 0 m. 01 d'épaisseur immergées dans l'eau douce froide,

et, d'autre part, sur des cylindres ayant 0 m. 03 de diamètre et de hauteur, immergés dans de l'eau douce maintenue à une température comprise entre 75 et 85 degrés.

Cylindres et galettes avaient été gâchés à l'eau douce, suivant la consistance normale de la pâte de ciment telle qu'elle est définie par le cahier des charges de Boulogne; l'époque des immersions était tantôt de deux heures après la fin de prise, tantôt de vingt-quatre heures après le gâchage.

I. — PORTLANDS ARTIFICIELS PROPREMENT DITS.

Les épreuves ont porté sur six échantillons.

Les galettes de ciment pur immergées dans l'eau douce froide n'ont subi aucun fendillement, même après une immersion ayant duré plus de six mois, et il a fallu ajouter jusqu'à 5 p. 100

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

de chaux surcuite à l'un des échantillons pour constater une déformation, laquelle s'est accusée après quatorze heures d'immersion.

Les déformations des cylindres immergés dans l'eau chaude, lorsqu'elles se manifestaient, étaient apparentes dans un délai variant de deux à douze heures; l'échantillon ci-dessus mentionné, qui avait été additionné de 5 p. 100 de chaux surcuite, s'est fendu après trois heures d'immersion dans l'eau chaude.

II. — PORTLANDS MIXTES, CIMENTS NATURELS, ET DIVERS.

Les épreuves ont porté sur huit échantillons.

L'un de ces ciments, qui était notoirement de mauvaise qualité, a eu ses galettes de ciment pur fendues après une immersion de quatre semaines dans l'eau douce, tandis qu'un délai de trois heures a suffi pour faire craquer dans l'eau chaude les cylindres de ce même ciment.

En ce qui concerne les sept autres échantillons, on n'a constaté aucun fendillement des galettes de ciment pur immergées dans l'eau douce, même après un délai de plus de six mois, tandis que les déformations des cylindres de ciment pur s'accusaient après une durée d'immersion dans l'eau chaude variant d'une heure à quarante-huit heures. Parmi ces sept échantillons, l'un de ceux qui s'étaient bien comportés à l'épreuve de l'eau chaude fut additionné de 2 p. 100 de chaux surcuite; les galettes obtenues avec le produit ainsi composé se fendirent au bout de quatre jours dans l'eau froide, alors que les cylindres de même composition, plongés dans l'eau chaude, se fendaient dans le délai d'une heure.

III. — CIMENTS DE GRAPPIERS.

Un seul échantillon fut soumis aux essais. Employé pur, il résista également bien à l'épreuve de l'eau douce froide et à celle de l'eau chaude; additionné de 1 p. 100, puis de 2 p. 100 de chaux surcuite, il subit avec succès l'épreuve de l'immersion dans l'eau froide, tandis que le produit composé avec 1 p. 100 de chaux se fendit après douze jours d'immersion dans l'eau chaude, et celui à 2 p. 100 de chaux après huit heures. Ce même ciment de grappiers, additionné de 3 p. 100 et de 4 p. 100 de chaux surcuite, se déforma après trois heures d'immersion dans l'eau douce froide et après un laps de temps égal pour l'épreuve de l'eau chaude.

D'une façon générale, il résulte de l'examen des documents qui ont servi à l'établissement du présent compte rendu :

1° Que, lorsque l'immersion d'une galette de ciment dans l'eau douce froide amène sa déformation dans un délai plus ou moins long, on peut affirmer que le produit est de mauvaise qualité;

2° Que, si l'on ajoute à un ciment qui paraît de bonne qualité une quantité de chaux surcuite variant de 0,5 à 1 p. 100, on rend ce produit sensible à l'action de l'eau chaude, sans que l'immersion dans l'eau froide, même prolongée, dénote dans le ciment ainsi modifié une tendance au fendillement.

L'épreuve de l'immersion dans l'eau chaude est donc, en résumé, beaucoup plus rapide et bien plus concluante que celle de l'immersion dans l'eau froide, lorsqu'il s'agit de mettre en évidence la présence, dans un ciment, de quantités peu considérables de chaux libre.

Versailles, le 17 janvier 1893.

Le Chef de bataillon du Génie,

RIBAUCOUR.

SUR

LA DÉTERMINATION DU RENDEMENT

ET

DE LA COMPACITÉ DES MORTIERS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. R. FERET.

On appelle généralement *rendement* d'une poudre (ciment, chaux, etc.) le volume de pâte ferme obtenu après gâchage avec l'unité de poids de cette poudre.

Lorsqu'il s'agit de mortiers sableux, on désigne le plus souvent sous le nom de *rendement* le volume de mortier frais fourni par un mètre cube de sable après addition d'un poids donné d'agglomérant et gâchage avec un volume d'eau connu.

Je signale en passant la discordance de ces deux définitions dont l'une part d'un poids de ciment et l'autre d'un volume de sable. On pourrait les unifier en appelant rendement dans les deux cas le volume de pâte fourni après gâchage par l'unité de poids de matière sèche, agglomérant pur ou mélange d'agglomérant et de sable. Pourtant, dans le cas du mortier sableux, cette manière de compter ne présenterait aucun intérêt pratique puisque sur les chantiers le sable est mesuré au volume.

Une autre difficulté consiste dans l'évaluation du volume du sable sur lequel on doit opérer. On sait en effet que le tassement varie suivant la dimension de la mesure employée.

Dès lors, la détermination du rendement ayant pour but de renseigner sur ce qui devra se passer dans la pratique, il est logique de prendre comme base de la définition la quantité de sable qui correspond à un mètre cube mesuré comme sur les chantiers. Il faudra donc spécifier la manière de mesurer le sable et le degré de tassement à lui faire subir.

En ce qui concerne le rendement des pâtes pures, sa détermination a pour but le plus souvent de calculer le poids d'agglomérant qu'il convient d'incorporer à un mètre cube d'un sable donné, dont on connaît le volume des vides, pour obtenir un mortier compact. On admet alors

que ce poids est égal à celui qui peut fournir un volume de pâte précisément égal au volume total des vides du mètre cube de sable.

C'est là un raisonnement qu'on fait couramment et que je considère comme trompeur, car l'écartement des grains de sable, déjà extrêmement variable suivant la manière dont on mesure le sable pur, s'éloigne encore bien plus de sa valeur théorique dès que le sable a été transformé en mortier par l'adjonction d'agglomérant et d'eau et le brassage énergique du mélange. D'ailleurs on reconnaît par l'expérience qu'avec la plupart des sables il est impossible d'obtenir un mortier exempt de vides, si forte que soit la proportion de ciment qu'on leur combine.

En somme, sans méconnaître l'utilité qu'il peut y avoir dans certains cas à mesurer le rendement des poudres et des mortiers, je crois qu'il est difficile d'en donner une définition qui corresponde exactement à ce qui se passe dans la pratique, et qu'il est même souvent téméraire de baser, sur le nombre trouvé pour le rendement, des calculs tendant à déterminer le dosage à adopter pour des mortiers.

Aussi proposerai-je de substituer à cette détermination celle d'une qualité d'un caractère plus général et qu'on pourrait appeler la *compacité* des mortiers.

Un volume donné de mortier peut être décomposé par la pensée en quatre parties occupées respectivement par le ciment, le sable, l'eau et les vides, et l'on conçoit que la qualité du mortier doive dépendre à la fois de ces quatre variables.

C'est ainsi que, dans certaines expériences, j'ai pu obtenir avec un même ciment et divers sables de même nature (quartzite moulu), mais de grosseurs différentes, des mortiers qui, *tout en contenant par unité de volume un même volume absolu de ciment*, ont présenté après une même durée des résistances variant plus que du simple au double.

J'appelle *compacité* d'un mortier considéré à une époque quelconque de son durcissement l'état défini par les valeurs des quatre volumes élémentaires occupés respectivement par le ciment, le sable, l'eau et les vides dans l'unité de volume de ce mortier.

Ce mot, employé dans son acception la plus large, désigne donc une qualité éminemment complexe et, en outre, susceptible de varier avec le temps.

Dans un récent mémoire admis à paraître aux *Annales des Ponts et Chaussées*, je me suis efforcé de montrer tout le parti qu'on pouvait tirer de la considération de la compacité des mortiers frais pour les comparer entre eux et prévoir dans une certaine mesure leurs principales qualités, durcissement, porosité, perméabilité, résistances, disposition à la désagrégation, etc.

Bien que mon travail n'ait guère fait qu'ébaucher la question, le peu de résultats acquis me paraissent démontrer suffisamment l'importance de l'étude de la compacité, et il serait à souhaiter que la Commission, reconnaissant l'utilité de ces essais, voulût bien définir la compacité d'un mortier et le moyen de la mesurer, de manière que toutes les expériences qui pourront être faites ultérieurement aient une base commune et conduisent à des résultats qu'on puisse comparer entre eux et faire converger vers un même but.

La méthode qui, après maints tâtonnements, m'a paru convenir le mieux à la détermination de la compacité d'un mortier de composition connue considéré à l'état frais, et que j'ai dès lors adoptée pour toutes mes expériences sans avoir eu jamais à m'en plaindre, consiste à déterminer le poids d'un volume connu de ce mortier.

Soient C, S et E les poids de ciment, de sable et d'eau gâchés ensemble : une partie du mortier obtenu est introduite dans un vase taré de volume connu V qu'on dérase soignement et qu'on pèse ensuite.

Soit P le poids de mortier contenu. On en déduit que le poids de l'unité de volume de mortier frais est $\frac{P}{V}$, se décomposant en :

$$C' = \frac{P}{V}\,\frac{C}{C+S+E} \text{ de ciment,}$$

$$S' = \frac{P}{V}\,\frac{S}{C+S+E} \text{ de sable,}$$

$$E' = \frac{P}{V}\,\frac{E}{C+S+E} \text{ d'eau.}$$

Dès lors, si δ, d et ε sont les poids spécifiques du ciment, du sable et de l'eau employés, les volumes réels de ces matières contenus dans l'unité de volume du mortier frais seront

$$c = \frac{C'}{\delta}, \text{ [1]}$$

$$s = \frac{S}{d},$$

$$e = \frac{E'}{\varepsilon},$$

et le volume des vides sera $$v = 1 - (c + s + e).$$

L'un des principaux avantages de cette méthode provient de ce qu'il est plus facile de mesurer un poids qu'un volume, cette seconde détermination exigeant l'emploi d'un vase gradué plus ou moins fragile, entre les divisions duquel on est obligé d'interpoler, et dont la forme, forcément étroite si l'on veut que les divisions ne soient pas trop rapprochées, se prête mal à l'introduction du mortier.

Au contraire, en opérant à volume constant, on a l'avantage de pouvoir employer un vase de forme basse présentant une surface faible relativement à son volume (par exemple un cylindre dont la hauteur soit égale au diamètre de base) dans lequel il est facile d'introduire et de mastiquer le mortier à la truelle sans crainte des inégalités de garnissage qui résultent souvent d'un trop grand développement des parois de la mesure.

Enfin il est à remarquer que, connaissant la compacité d'un mortier, il sera facile d'en déduire par le calcul le volume de ce mortier fourni par un volume quelconque de sable de tassement connu, c'est-à-dire son rendement.

En résumé j'ai l'honneur de proposer au Comité d'adopter les règles suivantes :

On déterminera la compacité d'un mortier frais de composition connue, en calculant les volumes absolus de ses divers éléments et des vides contenus dans l'unité de volume de ce mortier.

A cet effet on pèsera dans les proportions voulues les diverses matières, eau comprise, devant entrer dans la composition de ce mortier, en faisant en sorte que le poids total des matières sèches soit voisin de 1.000 grammes.

Après gâchage de cinq minutes comptées à partir de l'instant où l'eau aura été versée, on introduira le mortier dans une mesure cylindrique à bords bien nets, tarée et cubée exactement à l'avance, et dont la hauteur et le diamètre intérieurs soient tous deux voisins de 8 centimètres [2]; on dérasera la mesure avec le bord droit de la truelle et on la pèsera avec son contenu.

Du poids trouvé pour le volume de mortier contenu dans la mesure on déduira le poids du litre, puis, connaissant les proportions pondérales des divers éléments, le poids de chacun de ces éléments entrant dans un litre de mortier.

Enfin, on divisera ces poids par les poids spécifiques des matières correspondantes, ce qui donnera les volumes réels occupés par chacun des éléments du mortier, et on calculera le volume des vides par différence.

Boulogne, le 15 juin 1892.

R. FERET.

---

[1] Ce raisonnement suppose que pendant le gâchage le volume absolu du ciment n'est pas modifié par le contact de l'eau. Diverses expériences m'ont montré que cette hypothèse était suffisamment justifiée. En particulier on constate que le poids spécifique du ciment mesuré dans l'eau est très sensiblement le même que lorsqu'on le mesure dans un liquide tel que la benzine, n'exerçant aucune action sur le ciment. On écartera d'ailleurs toute cause d'erreur en adoptant pour δ le poids spécifique mesuré dans l'eau.

[2] Pour pouvoir opérer sur une mesure d'un litre, il faudrait dans certains cas employer plus de 2 kilogrammes de matière sèche.

SUR

LES MÉTHODES DE MESURE

DE LA POROSITÉ DES MORTIERS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR MM. P. ALEXANDRE, P. DEBRAY ET H. LE CHATELIER.

I.

DÉFINITIONS.

Les mortiers sont des corps poreux, c'est-à-dire des corps dans lesquels il existe des solutions de continuité, des vides qui peuvent, suivant les cas, être remplis d'air ou de liquide. La plus ou moins grande porosité des mortiers a une certaine influence sur leur degré d'altérabilité dans certaines conditions particulières, telles que l'exposition à la gelée ou à l'action des sels de la mer. C'est donc là une propriété qu'il est intéressant de savoir mesurer.

La porosité est une propriété absolue parfaitement définie. Par suite il n'y a pas, en principe, à recommander pour la mesurer un dispositif expérimental de préférence à un autre, pourvu que l'on s'astreigne à remplir certaines conditions qui sont indispensables pour l'exactitude des résultats. Mais, dans le cas des mortiers, des difficultés toutes spéciales se rencontrent, provenant de ce que l'eau y existe à trois états différents :

Eau d'imbibition,
Eau hygrométrique,
Eau de combinaison.

Le volume des deux premières catégories rentre dans les pores de la matière, tandis que l'eau combinée rentre dans la partie solide. Or il est très difficile, pour ne pas dire impossible, dans l'état actuel de nos connaissances sur les ciments, de faire le départ exact entre l'eau hygrométrique et l'eau combinée; tout ce que l'on peut espérer est de faire ce départ exact entre l'eau combinée et l'eau d'imbibition.

C'est en raison de ces difficultés particulières que le Sous-Comité [1] a été chargé de faire

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

quelques expériences pour se rendre compte des conditions dans lesquelles les méthodes usuelles de mesure conduisaient pour les mortiers à des résultats suffisamment exacts.

Dans une matière poreuse, il y a trois volumes différents à considérer :

Le volume total apparent V,

Le volume du plein v,

Le volume des vides v'.

Il existe évidemment entre ces trois volumes la relation

$$V = v + v'.$$

On peut, pour caractériser la porosité, prendre le rapport du volume du vide à l'un quelconque des deux autres volumes. Nous conviendrons d'appeler *coefficient de porosité*, ou simplement *porosité*, le rapport du volume du vide au volume apparent total.

$$\text{Porosité} = \frac{v'}{V}.$$

Dans un mortier, le volume vide v' comprend à la fois :

Le volume de l'air emprisonné dans la masse,

Le volume de l'eau d'imbibition,

Le volume de l'eau hygrométrique.

Pour connaître la porosité, il suffit de mesurer deux quelconques des trois volumes V, v, v' et, suivant les cas, on déduira de ces mesures la valeur de la porosité par l'une des trois formules :

$$\text{Porosité} = \frac{v'}{V}. \qquad (1)$$

$$\text{Porosité} = \frac{V - v}{V}. \qquad (2)$$

$$\text{Porosité} = \frac{v'}{v + v'} \qquad (3)$$

Pratiquement, il n'existe pas de procédés convenables pour mesurer directement le volume des vides v', de sorte que l'on utilise toujours, pour le calcul de la porosité, une mesure du volume apparent et une mesure du volume plein, en employant pour le calcul la seconde formule :

$$\text{Porosité} = \frac{\text{volume apparent} - \text{volume plein}}{\text{volume apparent}}.$$

Chacun de ces volumes peut d'ailleurs être obtenu par deux méthodes distinctes :

Par des mesures directes de volume,

Par des mesures de poids en faisant intervenir le principe d'Archimède.

Nous laisserons intentionnellement de côté, dans cette étude, certains procédés qui ont paru trop délicats, tels que le voluménomètre de Regnault, le densimètre à mercure employé pour les poudres explosives.

Nous étudierons successivement les conditions dans lesquelles doivent être mesurés :

Le volume apparent,

Le volume plein.

II.

MESURE DU VOLUME APPARENT.

1° Mesure directe du volume.

Si les expériences doivent porter sur des briquettes spécialement confectionnées à cet effet, le mieux est de leur donner des formes géométriques simples (prismes rectangulaires ou cylindres) dont les dimensions linéaires soient faciles à mesurer.

On emploiera pour ces mesures un pied à coulisse avec vernier, qui permet de faire les lectures au dixième de millimètre. Mais on ne peut pas compter sur une exactitude égale à la précision des lectures; il faut admettre que, dans certains cas, les erreurs pourront atteindre 0 mm. 5; elles ne seront, en tout cas, jamais inférieures à 0 mm. 1. On doit, bien entendu, avant toute mesure, enlever les croûtes peu adhérentes qui se forment à la surface des briquettes, de façon à rendre aussi homogène que possible la matière soumise aux mesures.

2° Mesure par les poids.

On peut encore déterminer le volume d'un corps par la perte de poids qu'il éprouve quand il est immergé dans un liquide. Cette méthode, qui s'applique à des mortiers de forme quelconque, par exemple à des fragments d'ancienne maçonnerie, exige, quand il s'agit de corps poreux, des précautions spéciales pour empêcher que la quantité d'eau d'imbibition varie entre la pesée dans l'air et la pesée dans l'eau. Ces précautions sont au nombre de deux.

Il faut d'abord recouvrir la matière d'un vernis qui empêche l'entrée ou la sortie de l'eau dans l'intervalle des deux pesées. Le suif fondu mis au pinceau, puis lissé avec le doigt, convient très bien; il a le grand avantage de s'appliquer également sur des mortiers secs ou mouillés. Il faut avoir soin de n'en pas mettre une couche trop épaisse qui modifierait le volume apparent de la matière. On peut admettre que l'épaisseur de cette couche sera comprise entre 0 mm. 1 et 0 mm. 5, ce qui ferait une erreur correspondante à celle que comportent les mesures au pied à coulisse.

Voici quelques indications sur les poids de suif qui ont été trouvés nécessaires pour enduire des briquettes cylindriques de 100 millimètres de diamètre et 50 millimètres de hauteur (type employé dans nos expériences). La dernière colonne du tableau donne l'épaisseur moyenne de la couche de suif calculée d'après son poids. En réalité, une partie du suif s'est logée dans les cavités superficielles et n'a pas contribué à augmenter le volume apparent. C'est pour ce motif que la quantité de suif employée avec les mortiers a dû être plus considérable qu'avec les pâtes pures.

NATURE DES BRIQUETTES.		POIDS DU SUIF.	ÉPAISSEUR de la COUCHE DU SUIF.
		g.	mm.
Ciment portland, pâte pure		5	0,17
Ciment de Vassy, pâte pure		5	0,17
Chaux du Teil, pâte pure		1,5	0,05
Ciment portland.	Mortier 1 : 3, sable fin	7	0,23
	— sable normal	9	0,30
	— gros sable	8	0,27

Pour se rendre compte du degré de concordance que présentent les mesures faites par l'une ou l'autre de ces méthodes, les essais comparatifs suivants ont été faits. Un certain nombre de

cylindres enduits de suif ont été pesés dans l'eau et dans l'air; sur les mêmes cylindres, des mesures de dimensions linéaires ont été faites suivant trois diamètres écartés de 120 degrés. Voici les résultats obtenus par l'une et l'autre de ces méthodes :

	PAR LES MESURES LINÉAIRES.	PAR LES PESÉES.	DIFFÉRENCES.
	cm³.	cm³.	p. 100.
Ciment portland, pâte pure	393	391	+0,5
Idem	399	395	+1
Idem	396	394	+0,5
Idem	396	394	+0,5
Ciment portland, mortier 1 : 3, sable normal	397	394	+0,75
Idem	398	393	+1,25
Idem	400	397	+0,75
Idem	400	397	+0,75
Chaux du Teil, pâte pure	393	395	−0,5
Idem	393	391	+0,5

Les mesures linéaires donnent un volume un peu plus fort que les pesées en raison des aspérités de la surface sur lesquelles vient s'arrêter le pied à coulisse.

III.

MESURE DU VOLUME PLEIN.

Pour mesurer le volume plein, le procédé le plus simple, qui a seul été étudié, consiste à peser le corps dans l'air, les pores étant pleins d'air, puis dans un liquide, les pores étant pleins du même liquide; la différence des deux poids donne le poids de la quantité de liquide dont le volume est égal à celui de la partie pleine.

Si P est le poids dans l'air,

p, le poids dans le liquide,

D, le poids spécifique du liquide,

v, le volume de la partie pleine :

$$P - p = vD.$$

Dans le cas où le liquide est l'eau, son poids spécifique étant égal à l'unité, la relation ci dessus devient

$$P - p = v.$$

C'est cette relation qui a été exclusivement utilisée dans nos recherches. On n'a jamais employé d'autres liquides que l'eau; les avantages que peut présenter l'emploi de la benzine, de l'essence de pétrole, n'ont pas paru suffisants pour compenser les dépenses et les dangers qui résulteraient de leur emploi.

La mesure des poids ne soulève aucune difficulté; la seule partie délicate de l'opération est le remplissage complet des pores alternativement avec de l'air et de l'eau. Nous allons passer en revue les différents procédés qui peuvent être essayés.

§ 1er. — Remplissage des pores avec l'eau.

Trois procédés ont été essayés :

1° L'immersion simple;

2° L'emploi du vide;

3° L'emploi de l'eau bouillante.

1° Immersion simple.

Trois cas peuvent se présenter :

a. Les pores sont complètement remplis d'eau;

b. Les pores sont partiellement remplis d'eau;

c. Les pores sont complètement remplis d'air.

(*a*). *Les pores sont complètement remplis d'eau.* — Ce cas est très rare; il peut se rencontrer sur des mortiers immergés depuis leur confection. Des briquettes immergées depuis trois mois se sont trouvées dans ces conditions; au contraire, des briquettes immergées depuis quarante jours renfermaient encore quelques centièmes de leur volume d'air, et l'on sait que les mortiers récemment confectionnés peuvent contenir une quantité d'air égale à 10 p. 100 de leur volume. On n'a jamais la certitude que l'air soit complètement éliminé, même après un très long temps d'immersion; on ne le sait qu'après s'être assuré qu'il est impossible d'augmenter la quantité d'eau emprisonnée par le mortier. Il faut donc, dans tous les cas, faire les opérations nécessaires pour le remplissage des pores par l'eau, c'est-à-dire admettre que l'on se trouve dans le cas suivant.

(*b*). *Les pores sont partiellement remplis d'eau.* — C'est le cas habituel des mortiers immergés. Voici quelques chiffres donnant l'importance des volumes d'air qui peuvent rester emprisonnés dans un mortier immergé.

1° *Mortiers plastiques au moment de leur confection* [1] :

Ciment portland.	pâte normale	7 p. 100
	Mortier 1 : 1	4
	Mortier 1 : 2	3
	Mortier 1 : 3	4

2° *Mortiers âgés de quarante jours prélevés parmi les briquettes d'essai du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées :*

Ciment portland.	Mortier 1 : 3	4,5 p. 100
	Mortier 1 : 3	4

3° *Mortiers âgés de trois mois, de même provenance que ci-dessus :*

Ciment portland.	Mortier 1 : 3	1 p. 100
	Mortier 1 : 3	0

Il semble donc possible, par une immersion très prolongée, d'éliminer les dernières traces d'air qu'un mortier renferme. Cet air, environné déjà d'eau de toutes parts, ne peut se dégager sous forme de bulles comme cela se produit au début de l'immersion d'un mortier sec, mais il peut se diffuser à la longue en dehors de la briquette. Seulement, en raison de la lenteur du phénomène de diffusion, une semblable élimination est forcément très lente. On conçoit cependant qu'elle doive devenir complète avec le temps, surtout si l'eau ambiante est bouillie et dépouillée ainsi de tout air dissous. Il peut encore en être de même dans l'eau déjà aérée, surtout si les briquettes sont immergées à une grande profondeur. La compression de l'air augmente sa solubilité dans l'eau et les mouvements inévitables de la masse liquide ramènent à la surface l'eau qui s'est sursaturée d'air. Elle laisse là dégager son excédent de gaz et redevient apte à en dissoudre de nouvelles quantités quand elle est ramenée au voisinage des briquettes. Une élimination semblable de l'air, quoique moins marquée, se produit par le simple fait de la compression des petites bulles d'air sous l'action des forces capillaires.

Il n'a pas été fait d'expériences spéciales pour se rendre compte du temps nécessaire à l'élimination totale de l'air dans ces conditions.

(*c*). *Les pores sont complètement remplis d'air.* — Des expériences d'immersion ont été faites en employant les précautions usitées pour l'imbibition des matériaux de construction, pierres et briques; c'est-à-dire que les briquettes ont d'abord été laissées pendant quelques heures trempées dans l'eau sur 20 millimètres de hauteur et ensuite immergées progressivement pendant

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, juillet 1892. (Feret.)

vingt-quatre heures. Ce mode de procéder a pour objet de permettre la pénétration de l'eau jusqu'au centre; quand on immerge brusquement un corps poreux, la couche superficielle mouillée emprisonne une masse d'air considérable qui ne peut se dégager librement; son élimination ne peut plus se faire que par dissolution, c'est-à-dire devient pratiquement impossible, en raison du grand volume de la masse d'air emprisonnée.

Quelques essais, faits après l'achèvement des expériences, ont montré que l'imbibition progressive de vingt-quatre heures était impuissante pour assurer la pénétration de l'eau jusqu'au centre des briquettes de ciment portland pur. Après quarante-huit heures, il restait encore une fraction centrale sèche.

Les résultats des expériences faites sur l'imbibition par immersion des briquettes sèches des dimensions indiquées ci-dessus, soit 50 millimètres de hauteur et 100 millimètres de diamètre, ont été les suivants.

La quantité d'eau absorbée pendant l'imbibition progressive du premier jour a été considérable; elle n'a plus augmenté ensuite qu'avec une très grande lenteur et avec une vitesse sensiblement uniforme. Le tableau ci-dessous donne le rapport du volume d'eau absorbé au volume apparent des briquettes:

1° Après immersion progressive en vingt-quatre-heures;

2° Après immersion complète pendant soixante-quinze jours ayant succédé à l'immersion progressive précédente;

3° Après imbibition complète obtenue par l'action du vide. (Cette dernière colonne est donnée ici seulement à titre de comparaison; les résultats seront discutés plus loin.)

	IMMERSION PROGRESSIVE EN 24 HEURES.	IMMERSION COMPLÈTE PENDANT 75 JOURS.	IMMERSION DANS LE VIDE.
Ciment portland, pâte pure.....	0,07	0,10	0,18
Ciment portland, mortier 1 : 3 — sable fin.....	0,17	0,23	0,32
Ciment portland, mortier 1 : 3 — sable normal.....	0,11	0,17	0,24
Ciment portland, mortier 1 : 3 — sable gros.....	0,09	0,15	0,21
Ciment de Vassy, pâte pure.....	0,30	0,33	0,35
Chaux du Teil, pâte pure.....	0,35	0,36	0,44

On voit donc qu'après une immersion même prolongée de 75 jours, on n'arrive qu'à une imbibition très incomplète. L'immersion avait été faite dans des seaux, c'est-à-dire dans une très faible épaisseur d'eau. Avec une immersion en eau profonde, on aurait sans doute eu des résultats moins mauvais, mais la durée d'immersion aurait encore dû être beaucoup trop prolongée pour conduire à des résultats acceptables.

L'imbibition par simple immersion ne peut donc pas être utilisée dans les mesures de porosité.

2° Emploi du vide.

Si l'on fait arriver l'eau sur une briquette sèche placée dans de l'air raréfié, il paraît vraisemblable que, toutes choses égales d'ailleurs, le volume d'eau qui pénétrera, et par suite le volume de l'air qui restera emprisonné, sera le même que sous la pression atmosphérique, aussi longtemps du moins que la pression raréfiée conservera la même valeur. Mais si l'on vient à laisser la pression atmosphérique se rétablir, l'air emprisonné se comprimera, son volume se réduira dans le rapport inverse des pressions, et une quantité correspondante d'eau pénétrera, en supposant, bien entendu, qu'à ce moment la briquette soit complètement immergée.

Soit par exemple l'air raréfié à un dixième d'atmosphère: d'après le tableau ci-dessus, le volume d'air qui reste emprisonné après vingt-quatre heures d'immersion progressive est au plus de la moitié du volume total des vides; en laissant la pression se rétablir, le volume se réduira au vingtième et l'erreur relative résultante sur la mesure de la porosité serait de 5 p. 100, ce qui est parfaitement admissible.

En faisant un vide plus complet, on pourra prendre moins de précautions pour l'immersion

et la rendre immédiatement complète, en supprimant la période progressive. Cela facilite considérablement les expériences, et c'est ainsi que nous avons toujours procédé. Le vide était fait à 25 mm. de mercure, au moyen d'une trompe, ce qui donne, en défalquant 15 millimètres pour la tension de la vapeur d'eau à 15 degrés, une tension de l'air restant de 10 millimètres, soit de $\frac{1}{60}$ d'atmosphère. Le vide était maintenu un quart d'heure environ, et on laissait l'eau pénétrer par un robinet dans la cloche où le vide existait.

Des pesées faites à des intervalles de temps espacés de 30 minutes à 42 jours ont montré que l'imbibition atteignait son maximum dans un temps variant de quelques minutes à quelques heures, toujours moindre qu'un jour.

Les chiffres obtenus ont été donnés dans le tableau précédent.

Il n'a pas été fait d'expériences sur des mortiers mouillés, renfermant à la fois de l'eau et de l'air. Il serait à craindre, dans ce cas, si le vide n'était pas poussé suffisamment loin, que les bulles d'air ne fissent que gonfler, sans se dégager de la masse, et fussent de nouveau emprisonnées par l'arrivée d'eau. Mais avec un vide aussi complet que celui employé dans nos expériences, la quantité d'air qui resterait emprisonnée ne peut être au plus que 1/80 du volume total des vides, c'est-à-dire une quantité négligeable.

3° Emploi de l'eau bouillante.

On peut chasser, d'une façon complète, l'air emprisonné dans les corps poreux, en les soumettant à une ébullition suffisamment prolongée. Le mécanisme de l'élimination de l'air est en relation avec la propriété connue des vapeurs saturées de prendre à une température donnée une tension fixe, indépendante de celle des gaz permanents qui peuvent se trouver au contact du liquide. Il en résulte qu'une bulle d'air, primitivement à la pression atmosphérique, prendra, si elle est mise au contact d'eau à 100 degrés sans pouvoir se dilater, une tension de 2 atmosphères. Si, au contraire, elle se trouve dans un milieu maintenu à pression constante, elle augmentera indéfiniment de volume, de telle sorte que la tension propre de l'air mêlé à de la vapeur tende vers zéro. L'air sortira ainsi progressivement du corps poreux jusqu'au moment où tous les pores seront remplis de vapeur d'eau; pendant le refroidissement, la vapeur se condensera et l'eau liquide pénétrera dans tous les espaces vides qu'elle remplira. L'ébullition sous pression atmosphérique est donc un mode d'imbibition aussi parfait que le serait, à la température ordinaire, un vide poussé jusqu'à une tension égale à celle de la vapeur d'eau. Seulement, le temps nécessaire à l'imbibition par ébullition est plus considérable que dans le cas d'imbibition par le vide, en raison du temps que met la chaleur à se propager jusqu'au centre des briquettes.

Les expériences faites par cette méthode nous ont conduit à reconnaître l'importance des précautions suivantes, dont l'utilité peut ne pas sembler évidente *a priori*.

Il faut imbiber les briquettes aussi complètement que possible, par une immersion progressive, avant de les exposer à l'action de l'eau bouillante. Si on les immerge brusquement, la partie centrale reste complètement sèche et, la vapeur n'y pénétrant que par diffusion, l'élimination de l'air ne dépend plus seulement de la durée de pénétration de la chaleur, qui est relativement très rapide. Nous n'avons reconnu l'utilité de cette précaution qu'après l'achèvement de la première série de nos expériences, dans lesquelles les briquettes ont toujours été immergées brusquement. Les résultats relatifs aux pâtes de ciment ont, pour ce motif, donné une pénétration d'eau un peu moindre que par l'emploi du vide.

Il est prudent d'immerger d'abord les briquettes dans de l'eau froide, dont on élève ensuite progressivement la température. Par l'action brusque de l'eau chaude, on s'expose, en raison de la dilatation inégale des briquettes, à déterminer, au moins dans les pâtes de chaux et de ciment rapide, des fentes qui peuvent, par leur volume, produire une augmentation apparente de la porosité.

Enfin, il est également prudent de laisser refroidir les briquettes dans l'eau même où elles ont été chauffées, au lieu de les en retirer pour les plonger dans l'eau froide, ce qui ferait gagner un peu de temps. Si le séjour intermédiaire dans l'air est un peu trop prolongé, il se produit un commencement de refroidissement qui amène la condensation d'une certaine quantité de vapeur d'eau et une rentrée correspondante d'air dans les pores. Bien qu'ayant reconnu, dès le début de nos recherches, l'influence de cette cause d'erreur, nous n'avons pas cru devoir nous astreindre à suivre la précaution recommandée ici; nous avons seulement pris nos mesures de façon à faire un transport des briquettes assez rapide pour éviter toute cause d'erreur.

Quelques essais préliminaires nous ayant montré qu'une ébullition de deux heures suffisait

pour arriver à la cessation du dégagement visible des bulles d'air, toutes les expériences ont été faites dans ces conditions. Ces expériences prolongées de 1 jour à 28 jours ont montré que, après un jour, l'imbibition était déjà complète. Le tableau ci-dessous donne comparativement les résultats obtenus par le vide et l'eau bouillante.

		EAU BOUILLANTE.	VIDE.
Ciment portland, pâte pure		0,15	0,18
Ciment portland.	mortier 1 : 3 sable fin	0,31	0,32
	mortier 1 : 3 sable normal	0,24	0,24
	mortier 1 : 3 sable gros	0,21	0,21
Ciment de Vassy, pâte pure		0,32	0,35
Chaux du Teil, pâte pure		0,42	0,44

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont identiques pour les mortiers, et très voisins pour les pures; la légère différence en faveur du vide provient de ce que l'on avait négligé de soumettre les briquettes à une imbibition progressive [1].

Il résulte de ces expériences que l'on peut, pour obtenir l'imbibition complète des mortiers, employer indifféremment l'eau bouillante ou le vide. Dans les expériences de porosité, la préférence doit cependant être accordée à l'emploi du vide.

On peut, en effet, avoir à étudier des mortiers peu âgés confectionnés avec des produits hydrauliques de mauvaise qualité renfermant des expansifs. En les soumettant à l'action de l'eau bouillante, on s'exposerait à les désagréger complètement.

D'autre part, la chaleur modifie l'état d'hydratation de certains ciments, notamment dans les produits à prise rapide. Cela est sans importance pour l'expérience d'imbibition, car le volume occupé par l'eau est sensiblement le même, qu'elle soit à l'état libre ou engagée dans une combinaison. Mais, si cette expérience d'imbibition doit être suivie d'une expérience de dessiccation, on s'expose à enlever comme eau d'imbibition et à compter comme telle, de l'eau qui était primitivement combinée. Le même inconvénient n'existe pas si les expériences portent sur un mortier qui était primitivement sec.

Pour les mesures de porosité, l'imbibition du mortier doit donc être obtenue de préférence par l'emploi du vide.

§ 2. — Remplissage des pores avec de l'air.

Ce remplissage se fait toujours par simple évaporation de l'eau à laquelle l'air se substitue immédiatement. On peut chercher à accélérer cette dessiccation par différents artifices : élévation de température, circulation d'air, vide, emploi de corps avides d'eau. C'est dans tous les cas la partie la plus délicate des mesures de porosité, parce qu'il est très difficile, pour ne pas dire impossible, d'enlever toute l'eau d'imbibition et l'eau hygrométrique sans toucher à l'eau de combinaison. Il faudrait, pour pouvoir faire ce départ d'une façon exacte, connaître à chaque température les tensions d'efflorescence des hydrates des différents sels calcaires hydrauliques et arrêter l'évaporation dans une atmosphère assez humide pour éviter la décomposition de ces hydrates. Or on ne possède actuellement aucune donnée précise sur ce sujet; on n'avait même jusqu'ici aucune idée de la quantité d'eau hygrométrique que peut retenir un mortier séché à l'air.

Quoi qu'il en soit, nous avons dans une première série d'expériences opéré la dessiccation du mortier dans les deux conditions suivantes :

1° Air libre dans un laboratoire moyennement chauffé;

2° Étuve chauffée entre 40 et 50 degrés.

[1] Une nouvelle série d'expériences faites depuis la présentation de ce rapport a donné en effet une imbibition plutôt un peu supérieure à celle obtenue par le vide.

Le tableau suivant donne le rapport du volume d'eau enlevé au volume apparent des briquettes après des durées de dessiccation de 7 jours, 15 jours, 1 mois et de 2 mois.

	AIR LIBRE À 15°				ÉTUVE À 45°.			
	7 JOURS.	15 JOURS.	1 MOIS.	2 MOIS.	7 JOURS.	15 JOURS.	1 MOIS.	2 MOIS.
Ciment portland, pâte pure	0,00	0,01	0,01	0,02	0,11	0,16	0,20	0,21
— mortier 1 : 3, sable fin	0,10	0,12	0,16	0,18	0,225	0,24	0,24	0,24
— — sable normal	0,9	0,10	0,12	0,12	0,185	0,19	0,19	0,19
— — sable gros	0,7	0,8	0,10	0,10	0,165	0,17	0,17	0,17
Ciment de Vassy, pâte pure	0,5	0,9	0,14	0,24	0,30	0,42	0,47	0,47
Chaux du Teil, pâte pure	0,5	0,8	0,13	0,19	0,19	0,34	0,41	0,41

Il résulte de ce tableau, que le temps nécessaire pour la dessiccation totale varie considérablement, comme on pouvait s'y attendre, avec la nature des mortiers et la température de l'air.

A 15 degrés, les pâtes pures n'avaient pas encore, au bout de deux mois, atteint la limite de dessiccation; les briquettes cassées furent encore trouvées humides au centre. Il s'agit toujours là des briquettes cylindriques de 50 millimètres d'épaisseur. La dessiccation serait évidemment plus rapide pour des briquettes de plus petites dimensions.

A la même température, les mortiers 1 : 3 ont atteint la limite au bout d'un mois.

A la température de 45 degrés, les pâtes ont atteint la limite de dessiccation au bout d'un mois et les mortiers au bout de sept jours.

Mais le fait capital qui ressort de ce tableau est que la limite de dessiccation n'est pas la même à 15 et à 45 degrés. La différence pour les mortiers est de 6 à 7 p. 100; elle serait beaucoup plus considérable pour les pâtes. Cet écart ne peut provenir que de la présence d'une forte quantité d'eau hygrométrique ou de la décomposition des hydrates calcaires. Cette seconde hypothèse doit être écartée de prime-abord pour la chaux et le ciment portland qui supportent sans altération des températures de 100 degrés, c'est-à-dire bien supérieures à celle de l'étuve. Mais cette décomposition paraissait vraisemblable pour le ciment à prise rapide. Pour s'en assurer, on a écrasé comparativement les briquettes desséchées à l'air et à l'étuve; ces dernières donnèrent une résistance un peu plus faible; il est difficile de formuler une conclusion absolue. On peut seulement dire que, s'il y a eu altération, cette altération est en tout cas restée fort limitée. La majeure partie, sinon la totalité de l'écart observé dans les pertes d'eau à la dessiccation, doit donc être attribuée à la présence d'eau hygrométrique. Il est par suite indispensable, pour éliminer cette dernière, de faire la dessiccation à chaud.

Par conséquent, pour les mesures de porosités vraies, on devra, pour remplir les pores d'air, effectuer la dessiccation à une température voisine de 45 degrés.

Dans les tableaux numériques donnés au cours de cette note, on n'a mentionné aucune mesure de porosité; on a donné seulement le rapport des volumes d'eau enlevés ou introduits au volume apparent des mortiers. Or, ces rapports donneraient précisément la mesure de la porosité, si l'on était assuré qu'au moment de l'expérience les mortiers étaient, les uns complètement imbibés d'eau les autres complètement secs.

Les briquettes étaient préparées depuis deux mois et demi. Celles qui avaient durci sous l'eau n'étaient peut-être pas complètement imbibées d'eau; celles qui avaient séché à l'air renfermaient toute leur eau hygrométrique. Les unes et les autres n'ont donc pu fournir que des mesures approchées de leur porosité. Il peut être intéressant cependant de rapprocher les chiffres obtenus.

	MORTIERS DURCIS DANS L'EAU.		MORTIERS DURCIS A L'AIR.
	Porosité vraie.	Porosité apparente.	Porosité apparente.
Ciment portland, pâte pure	0,21	"	0,18
Ciment portland, mortier 1 : 3 — sable fin	0,24	0 18	0,32
Ciment portland, mortier 1 : 3 — sable normal	0,19	0 12	0,24
Ciment portland, mortier 1 : 3 — sable gros	0,17	0 10	0,21
Ciment de Vassy, pâte pure	0,47	"	0,35
Chaux du Teil, pâte pure	0,41	"	0,44

On a appelé porosité apparente la porosité calculée en comptant l'eau hygrométrique comme matière solide.

Il semble difficile de tirer aucune conclusion de chiffres en aussi petit nombre. Il paraît bien cependant qu'à temps égal le durcissement à l'air donne une porosité notablement plus grande que le durcissement sous l'eau, ce qui était d'ailleurs vraisemblable *a priori*.

IV.

CONCLUSIONS.

(*a*). On appelle *porosité* d'un mortier le rapport du volume des vides que présente ce mortier au volume apparent total, le vide comprenant le volume occupé par l'eau d'imbibition et par l'eau hygrométrique, à l'exclusion de l'eau de combinaison, qui fait évidemment partie du plein.

Si l'on appelle :

V le volume apparent total,

v le volume plein,

la porosité sera donnée par la formule :

$$\text{Porosité} = \frac{V - v}{V}.$$

(*b*). Les éprouvettes seront, autant que possible, des blocs ayant un volume apparent compris entre 0 l. 30 et 0 l. 50.

(*c*). Le volume plein (v) s'obtient en prenant la différence ($P - p$) du poids du bloc pesé sec dans l'air (P), et du poids du bloc imbibé d'eau, pesé dans l'eau (p)

Pour obtenir l'imbibition complète, on maintient le bloc un quart d'heure dans l'air raréfié à une pression ne dépassant pas 25 mm. de mercure, et l'on fait arriver de l'eau sur le bloc jusqu'à son immersion complète en maintenant le même degré de vide. Une fois le bloc recouvert d'eau, on laisse la pression atmosphérique se rétablir et l'on attend vingt-quatre heures avant de faire la pesée qui doit donner (p).

A défaut de moyen convenable pour raréfier l'air, on produira l'imbibition par l'action de l'eau bouillante, quand les produits pourront supporter son action sans inconvénient. A cet effet, on laissera le bloc le pied dans l'eau pendant quarante-huit heures; au bout de ce temps, on l'immergera complètement dans de l'eau froide qui sera portée à l'ébullition et maintenue ensuite au même état pendant deux heures. Puis on laissera refroidir sans sortir le bloc, et l'on fera, au bout de vingt-quatre heures, la pesée qui doit donner (p).

Pour obtenir la dessiccation du bloc, on le maintiendra jusqu'à ce qu'il ne perde plus de poids dans une étuve chauffée entre 40 et 50 degrés. Le poids final mesuré sera (P). Dans cette opération, on évitera avec soin la pénétration dans l'étuve de l'acide carbonique provenant des produits de la combustion de l'appareil de chauffage.

Pour certains produits, la dessiccation effectuée dans ces conditions pourra laisser encore un peu d'eau hygrométrique, ou au contraire enlever un peu d'eau combinée, ce qui laisse subsister une légère incertitude sur les valeurs trouvées pour la porosité.

(*d*). Le volume apparent du bloc (V) peut s'obtenir par des mesures directes, s'il présente une forme géométrique. Dans le cas contraire, on mesurera ce volume en prenant la différence entre les poids du bloc pesé dans l'eau et dans l'air, son état d'imbibition étant resté le même. Pour assurer la constance de cet état d'imbibition, on enduira le bloc avant la pesée d'une couche mince de suif fondu, qui sera posée au pinceau et étendue avec le doigt. On aura soin de faire la pesée dans l'eau avant la pesée dans l'air.

Paris, le 19 février 1893.

P. ALEXANDRE, P. DEBRAY, H. LE CHATELIER.

DÉTERMINATION

DE LA POROSITÉ DES CIMENTS ET MORTIERS

A

ESSAIS PAR DESSICCATION

D'ÉPROUVETTES DURCIES SOUS L'EAU

Dimensions des éprouvettes : Cylindres de 0 m. 10 de diamètre et 0 m. 05 d'épaisseur.

P. — Poids dans l'eau des éprouvettes sèches.
p. — Poids dans l'eau des éprouvettes conservées dans l'eau.
P'. — Poids dans l'air des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif.
p'. — Poids dans l'eau des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif.

$$V = (P' - p'). \qquad v = (P - p).$$

$$\text{Porosité} = \frac{(P' - p') - (P - p)}{(P' - p')}.$$

Nota. — La saturation des éprouvettes durcies sous l'eau n'ayant vraisemblablement pas été absolument complète, les porosités calculées peuvent n'être pas tout à fait exactes.

Les éprouvettes de cette série ont été immergées dans l'eau douce deux jours après leur fabrication et mises en expérience après soixante-quinze jours d'immersion.

ESSAIS PAR

Nos des éprouvettes.	POIDS dans l'eau des éprouvettes conservées dans l'eau avant les essais. p.	MODES de dessiccation.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'AI (Les chiffres gras indiquent les variation								
			1 jour.	2 jours.	3 jours.	4 jours.	7 jours.	10 jours.	14 jours.	21 jours.	28 jours.
											PÂTE DE
1	495,5	À l'air libre (à l'abri du soleil et de l'humidité.).....	851,5	850,1	850,0	849,3	848,8	"	"	846,9	846,0
			"	**1,4**	**0,1**	**0,7**	**0,5**	"	"	**1,9**	**0,9**
2	455,9		848,1	846,9	846,7	846,0	845,5	"	"	843.3	842.8
			"	**1,2**	**0,2**	**0,7**	**0,4**	"	"	**2,2**	**0,5**
3	459,9		853,2	851,8	851,7	851,0	850,6	"	"	848,1	847.3
			"	**1,4**	**0,1**	**0,7**	**0,4**	"	"	**2,5**	**0,8**
4	458,6	À l'étuve (à la température de 40° à 50° centigrades)..	833,0	819,4	816,0	808,6	792,5	"	777,5	"	"
			"	**13,6**	**3,4**	**7,4**	**16,1**	"	**15,0**	"	"
5	460,5		833,0	823,1	818,9	813,5	802,3	"	790,2	"	"
			"	**9,9**	**4,2**	**5,4**	**11,2**	"	**12,1**	"	"
6	458,7		833,6	819,9	814,7	810,7	801,7	"	791,0	"	"
			"	**13,7**	**5,2**	**4,0**	**9,0**	"	**10,7**	"	"
											CIMENT PORTLAND.
1	383,6	À l'air libre.....	770,3	762,8	753,6	748,5	739,6	733,5	727,5	721,4	717,1
			"	**7,5**	**9,2**	**5,1**	**8,9**	**6,1**	**6,0**	**6,1**	**4,3**
2	385.2		771,5	764,9	756,5	751,6	743,0	737,4	731,9	725,7	721,5
			"	**6,6**	**8,4**	**4,9**	**8,6**	**5,6**	**5,5**	**6,2**	**4,2**
3	391,7		781,7	774,5	765,1	760,0	751,0	744,6	739,0	733,0	729,0
			"	**7,2**	**9,4**	**5,1**	**9,0**	**6,4**	**5,6**	**6,0**	**4,0**
4	394,8	À l'étuve.....	748,2	741,4	725,5	716,8	705,3	699,2	698,6	697,9	697,2
			"	**6,8**	**15,9**	**8,7**	**11,5**	**6,1**	**0,6**	**0,7**	**0,7**
5	390,5		741,6	730,0	714,7	707,5	697,2	693,2	693,4	692.9	691,8
			"	**11,6**	**15,3**	**7,2**	**10,3**	**4,0**	**-0,2**	**0,5**	**1,1**
6	398,0		749,5	735,1	720,0	714,4	709,0	707,0	706,5	705,5	704,5
			"	**14,4**	**15,1**	**5,6**	**5,4**	**2,0**	**0,5**	**1,0**	**1,0**

DESSICCATION.

NSTATÉES APRÈS : (ces pesées.)				POIDS dans l'air des éprouvettes sèches. P.	POIDS dans l'eau des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS dans l'air des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ en ne tenant pas compte de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
JOURS.	41 JOURS.	48 JOURS.	58 JOURS.					
MENT PORTLAND.								
"	845,5	"	842,7	842,7	452,2	844,0	0,022	Fissurés.
"	0,5	"	2,8	"	"	"	"	
"	842,2	"	839 8	839,8	448,5	840,0	0,021	
"	0,6	"	2,4	"	"	"	"	
"	847,0	"	844,0	844,0	451,5	845,0	0,024	
"	0,3	"	3,0	"	"	"	"	
"	769,5	"	768,1	768,1	380,5	770,4	0,206	Fissurés.
"	8,0	"	1,4	"	"	"	"	
"	774,0	"	772,1	772,1	382,9	774,0	0,203	
"	16,2	"	1,9	"	"	"	"	
"	772,0	"	769,5	769,5	380,3	771,6	0,206	
"	18,7	"	2,8	"	"	"	"	
MORTIER 1 : 3 AVEC SABLE FIN.								
714,2	713,2	711,1	710,1	710,1	316,2	717,0	0,185	
2,9	1,0	2,1	1,0	"	"	"	"	
718,9	718,2	716,0	714,8	714,8	321,7	720,9	0,174	
2,6	0,7	2,2	1,2	"	"	"	"	
726,7	725,8	724,4	723,5	723,5	328,0	730,0	0,175	
2,3	0,9	1,4	0,9	"	"	"	"	
697,4	697,4	697,4	697,5	697,5	307,2	704,5	0,238	
- 0,2	0,0	0,0	- 0,1	"	"	"	"	
691,8	692,0	691,9	692,1	692,1	303,5	699,2	0,238	
0,0	- 0,2	0,1	- 0,2	"	"	"	"	
704,5	704,5	704	704,9	704,9	314,2	712,8	0,230	
0,0	0,0	0	- 0,4	"	"	"	"	

ESSAIS PA

Nos des éprouvettes.	POIDS dans l'eau des éprouvettes conservées dans l'eau avant les essais. p.	MODES de dessiccation.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'A (Les chiffres gras indiquent les variat								
			1 jour.	2 jours.	3 jours.	4 jours.	7 jours.	10 jours.	14 jours.	21 jours.	28 jour
			CIMENT PORTLAND. –								
1	449,5	À l'air libre.....	831,8	826,1	822,5	820,0	815,1	812,7	809,5	806,2	803,5
			"	**5,7**	**3,6**	**2,5**	**4,9**	**2,4**	**3,2**	**3,3**	**2,7**
2	445,5		820,7	814,6	811,0	809,0	804,5	801,6	798,5	795,3	792,5
			"	**6,1**	**3,6**	**2,0**	**4,5**	**2,9**	**3,1**	**3,2**	**2,8**
3	440,8		817,1	810,8	807,1	805,3	799,5	796,5	793,5	790,0	787,0
			"	**6,3**	**3,7**	**1,8**	**5,8**	**3,0**	**3,0**	**3,5**	**3,0**
4	448,0	À l'étuve.....	791,8	776,2	772,2	770,8	768,2	766,8	766,8	766,0	"
			"	**15,6**	**4,0**	**1,4**	**2,6**	**1,4**	**0,0**	**0,8**	"
5	450,3		792,9	780,8	777,8	776,0	773,5	772,4	772,3	771,5	"
			"	**12,1**	**3,0**	**1,8**	**2,5**	**1,1**	**0,1**	**0,8**	"
6	454,4		796,0	783,5	781,4	780,3	778,4	777,2	777,1	776,5	"
			"	**12,5**	**2,1**	**1,1**	**1,9**	**1,2**	**0,1**	**0,6**	"
			CIMENT PORTLAND. –								
1	467,7	À l'air libre.....	848,2	844,0	841,9	839,5	835,1	832,7	829,9	826,5	823,7
			"	**4,2**	**2,1**	**2,4**	**4,4**	**2,4**	**2,8**	**3,4**	**2,8**
2	463,1		837,9	834,1	831,8	829,5	825,5	823,3	821,0	818,2	815,5
			"	**3,8**	**2,3**	**2,3**	**4,0**	**2,2**	**2,3**	**2,8**	**2,8**
3	484,5		872,0	868,2	866,1	864,0	860,3	857,7	855,0	852,0	849,0
			"	**3,8**	**2,1**	**2,1**	**3,7**	**2,6**	**2,7**	**3,0**	**3,0**
4	445,8	À l'étuve.....	743,4	738,7	737,5	736,6	736,3	735,4	735,2	734,4	"
			"	**4,7**	**1,2**	**0,9**	**0,3**	**0,9**	**0,2**	**0,8**	"
5	495,5		858,8	847,2	843,0	841,0	836,7	834,1	834,0	833,0	"
			"	**11,6**	**2,2**	**2,0**	**4,3**	**2,6**	**0,1**	**1,0**	"
6	481,4		832,7	822,0	817,8	815,6	812,2	811,1	810,8	810,0	"
			"	**10,7**	**4,2**	**2,2**	**3,4**	**1,1**	**0,3**	**0,8**	"

DESSICCATION. (Suite.)

CONSTATÉES APRÈS : de ces pesées.)				POIDS DANS L'AIR des éprouvettes sèches. P.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ EN NE TENANT pas compte de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
35 JOURS.	41 JOURS.	48 JOURS.	58 JOURS.					
MORTIER 1:3 AVEC SABLE NORMAL.								
803,3	802,9	801,5	801,7	801,7	408,7	809,3	0,121	
0,2	0,4	1,4	-0,2	"	"	"	"	
792,5	791,1	790,7	791,0	791,0	404,5	798,0	0,122	
0,0	1,4	0,4	-0,3	"	"	"	"	
787,0	786,9	785,7	785,7	785,7	398,9	792,0	0,123	
0,0	0,1	1,2	0,0	"	"	"	"	
765,3	765,4	765,5	766,3	766,3	378,0	775,1	0,198	
0,7	-0,1	-0,1	-0,8	"	"	"	"	
770,7	770,5	770,5	771,1	771,1	383,1	779,6	0,191	
0,8	0,2	0,0	-0,6	"	"	"	"	
776,0	776,0	776,0	776,8	776,8	388,4	785,5	0,188	
0,5	0,0	0,0	-0,8	"	"	"	"	
MORTIER 1:3 AVEC GROS SABLE.								
823,9	823,5	822,1	822,5	822,5	432,4	830,8	0,109	
-0,2	0,4	1,4	-0,4	"	"	"	"	
815,5	815,2	814,0	814,3	814,3	429,5	822,6	0,107	
-0,1	0 3	1,2	-0,3	"	"	"	"	
848,6	848,1	847,0	846,9	846,9	450,9	853,6	0,100	
0,4	0,5	1,1	0,1	"	"	"	"	
734,2	734,3	734,1	734,8	734,8	358,7	756,1	0,273	Résultat à écarter. Anomalie.
0,2	-0,1	0,2	-0,7	"	"	"	"	
832,9	832,9	832,7	834,2	834,2	434,2	842,0	0,169	
0,1	0,0	0,2	-1,5	"	"	"	"	
809,4	809,0	809,2	810,3	810,3	420,8	817,7	0,171	
0,6	0,4	-0,2	-1,1	"	"	"	"	

ESSAIS PAR

Nos des éprouvettes.	POIDS dans l'eau des éprouvettes conservées dans l'eau avant les essais. p.	MODES de dessiccation.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'AIR (Les chiffres gras indiquent les variations) 1 jour.	2 jours.	3 jours.	4 jours.	7 jours.	10 jours.	14 jours.	21 jours.	28 jours.
											PÂTE DE
1	300,0	À l'air libre.....	687,2	683,0	679,4	676,5	670,2	665,2	658,7	648,0	634,4
			"	**4,2**	**3,6**	**2,9**	**6,3**	**5,0**	**6,5**	**10,7**	**13,6**
2	297,4		686,1	682,9	680,0	677,4	671,4	666,6	660,5	648,7	631,5
			"	**3,2**	**2,9**	**2,6**	**6,0**	**4,8**	**6,1**	**11,8**	**17,2**
3	298,7		686,1	682,5	679,5	676,7	670,4	665,5	659,0	647,0	629,0
			"	**3,6**	**3,0**	**2,8**	**6,3**	**4,9**	**6,5**	**12,0**	**18,0**
4	298,5	À l'étuve.....	648,0	611,7	605,0	601,1	573,7	546,7	526,8	506,0	"
			"	**26,3**	**16,7**	**3,9**	**27,4**	**27,0**	**19,9**	**10,8**	"
5	296,6		653,5	627,3	608,3	598,9	570,2	543,2	524,3	505,5	"
			"	**26,2**	**19,0**	**9,4**	**28,7**	**27,0**	**18,9**	**18,8**	"
6	295,0		648,8	623,2	605,5	595,2	565,2	540,9	521,7	500,0	"
			"	**25,6**	**17,7**	**10,3**	**30,0**	**24,8**	**19,2**	**21,7**	"
											PÂTE DE
1	300,0	À l'air libre.....	690,9	688,3	685,8	683,3	677,2	671,5	665,1	655,9	646,0
			5,7	**2,6**	**2,5**	**2,5**	**6,1**	**5,7**	**6,4**	**9,2**	**9,9**
2	297,0		688,7	686,1	684,0	681,5	675,2	669,8	663,2	654,0	643,7
			5,2	**2,6**	**2,1**	**2,5**	**6,3**	**5,4**	**6,6**	**9,2**	**10,3**
3	298,1		690,7	687,8	685,3	682,6	675,5	669,5	662,7	653,0	642,1
			5,5	**2,9**	**2,5**	**2,7**	**7,1**	**6,0**	**6,8**	**9,7**	**10,9**
4	292,5	À l'étuve.....	671,5	662,2	652,0	644,8	620,5	580,7	562,5	529,5	"
			16,9	**9,3**	**0,2**	**7,2**	**24,3**	**39,8**	**18,2**	**33,0**	"
5	290,2		660,2	647,4	639,5	628,5	612,5	579,5	548,8	525,5	"
			26,0	**12,8**	**7,9**	**11,0**	**16,0**	**33,0**	**30,7**	**23,3**	"
6	291,2		667,2	649,9	638,0	629,9	604,4	587,9	554,5	527,0	"
			21,0	**17,3**	**11,9**	**8,1**	**25,5**	**16,5**	**33,4**	**27,5**	"

DESSICCATION. (Suite.)

CONSTATÉES APRÈS : (de ces pesées.)				POIDS DANS L'AIR des éprouvettes sèches. P.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes sèches après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ EN NE TENANT pas compte de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$	OBSERVATIONS.
35 JOURS.	41 JOURS.	48 JOURS.	58 JOURS.					
CIMENT DE VASSY.								
630,5	624,0	615,4	598,0 (1)	598,0	210,5	600,7	0,236	Fissuré. (1) Après 76 jours de dessiccation.
3,9	**6,5**	**8,6**	**17,4**	"	"	"	"	
626,4	619,0	619,7	591,5 (1)	591,5	203,1	594,2	0,248	Fissuré.
5,1	**7,4**	**9,3**	**18,2**	"	"	"	"	*Idem.*
624,8	618,5	610,2	593,5 (1)	593,5	206,5	596,4	0,244	*Idem.*
4,2	**6,3**	**8,3**	**16,7**	"	"	"	"	
503,7	503,7	502,8	503,4	503,4	124,4	510,0	0,469	Fissuré après 4 jours.
2,3	**0,0**	**0,9**	**- 0,6**	"	"	"	"	
503,2	503,8	503,3	504,7	504,7	127,1	511,7	0,459	*Idem.*
2,3	**- 0,6**	**0,5**	**- 1,4**	"	"	"	"	
498,8	498,2	498,2	500,2	500,2	123,0	506,8	0,465	*Idem.*
1,2	**0,6**	**0,0**	**- 2,0**	"	"	"	"	
CHAUX DU TEIL.								
643,5	639,0	634,2	621,0 (1)	621,0	228,7	621,8	0,184	(1) Après 76 jours de dessiccation.
2,5	**4,5**	**4,8**	**13,2**	"	"	"	"	
641,2	636,5	631,4	618,4 (1)	618,4	224,0	619,2	0,187	
2,5	**4,7**	**5,1**	**13,0**	"	"	"	"	
639,7	634,9	629,9	616,4 (1)	616,4	222,0	617,6	0,195	
2,4	**4,8**	**5,0**	**13,5**	"	"	"	"	
523,7	524,2	523,8	527,3	527,3	137,3	528,6	0,400	Fissuré au bout de 7 jours.
5,8	**- 0,5**	**0,4**	**- 3,5**	"	"	"	"	
518,3	518,8	520,2	521,9	521,9	143,0	523,6	0,408	*Idem.*
7,2	**- 0,5**	**- 1,4**	**- 1,7**	"	"	"	"	
521,0	521,8	522,0	525,0	525,0	133,1	526,9	0,406	*Idem.*
6,0	**- 0,8**	**- 0,2**	**- 3,0**	"	"	"	"	

DÉTERMINATION DE LA POROSITÉ

DES CIMENTS ET MORTIERS

B

ESSAIS PAR IMBIBITION D'EAU

D'ÉPROUVETTES DURCIES DANS L'AIR

Dimensions des éprouvettes : Cylindre de 0 m. 10 de diamètre et 0 m. 05 d'épaisseur.

P. — Poids dans l'air des éprouvettes sèches.
p. — Poids dans l'eau des éprouvettes saturées d'eau.
P'. — Poids dans l'air des éprouvettes saturées d'eau après pose d'un enduit de suif.
p'. — Poids dans l'eau des éprouvettes saturées d'eau après pose d'un enduit de suif.

$$V = (P' - p'). \qquad v = (P - p).$$

$$\text{Porosité} = \frac{(P' - p') - (P - p)}{(P' - p')}.$$

NOTA — P ayant été obtenu en pesant des éprouvettes durcies à l'air qui contenaient de l'eau hygrométrique, les porosités calculées correspondent à la porosité apparente et non à la porosité vraie.

Les éprouvettes de cette série ont été conservées à l'air, à l'abri du soleil et de l'humidité, pendant soixante-quinze jours, après lesquels elles ont été mises en expérience.

1° SATURATION PAR SIMPLE

NUMÉROS des ÉPROUVETTES.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes à l'état sec. P.	POIDS DANS L'AIR après 1 jour d'immersion et poids d'eau absorbée.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'EAU APRÈS (Les chiffres en caractères gras indiquent les augmentations de poids constatées dans ces									
			1 jour.	2 jours.	4 jours.	5 jours.	6 jours.	7 jours.	14 jours.	21 jours.	35 jours.	[illegible] jours.
												PÂTE DE
1	806,9	836,0	446,0	447,5	"	"	"	449,6	451,1	452,2	"	"
		"	"	**1,5**	"	"	"	**2,1**	**1,5**	**3,3**	"	"
2	803,8	838,1	443,0	444,5	"	"	"	446,5	448,0	449,0	"	"
		"	"	**1,5**	"	"	"	**2,0**	**1,5**	**3,0**	"	"
3	804,0	833,4	442,2	443,6	"	"	"	445,8	447,2	448,2	"	"
		"	"	**1,4**	"	"	"	**2,2**	**1,4**	**3,3**	"	"
												CIMENT PORTLAND
1	686,0	751,1	364,2	364,8	365,2	365,7	365,8	366,5	373,5	375,4	378,9	380,4
		65,1	"	**0,6**	**0,4**	**0,5**	**0,1**	**0,7**	**7,0**	**1,9**	**3,5**	**1,5**
2	713,6	781,2	380,4	381,0	381,5	382,0	382,2	383,2	390,7	392,9	396,7	398,2
		67,4	"	**0,6**	**0,5**	**0,5**	**0,2**	**1,0**	**7,5**	**2,2**	**3,8**	**1,5**
3	703,4	768,6	376,9	377,4	378,0	378,4	378,8	379,4	386,0	388,0	391,5	393,0
		65,2	"	**0,5**	**0,6**	**0,4**	**0,4**	**0,6**	**6,6**	**2,0**	**3,5**	**1,5**
												CIMENT PORTLAND
1	783,8	827,0	438,4	438,7	439,4	440,0	440,2	441,0	446,8	448,3	451,4	452,6
		43,2	"	**0,3**	**0,7**	**0,6**	**0,2**	**0,8**	**5,8**	**1,5**	**3,1**	**1,1**
2	770,0	814,6	430,5	430,9	431,5	431,9	423,3	433,2	439,5	441,3	444,3	445,1
		44,6	"	**0,4**	**0,6**	**0,4**	**0,4**	**0,9**	**6,3**	**1,8**	**3,0**	**0,8**
3	780,1	823,3	434,4	435,9	435,5	436,0	436,3	437,2	443,4	445,2	448,5	449,6
		43,2	"	**0,6**	**0,5**	**0,5**	**0,3**	**0,9**	**6,2**	**1,8**	**3,3**	**1,1**

IMMERSION DANS L'EAU DOUCE.

...ées.)				POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées. p.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ en ne tenant pas compte de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
49 jours.	56 jours.	63 jours.	75 jours.					
...MENT PORTLAND.								
"	"	455,5	"	455,5	454,0	846,1	0,104	
"	"	3,3	"	"	"	"	"	
"	"	452,0	"	452,0	451,0	844,0	0,105	
"	"	3,0	"	"	"	"	"	
"	"	451,1	"	451,5	450,1	842,0	0,101	
"	"	3,3	"	"	"	"	"	
MORTIER 1 : 3. SABLE FIN.								
381,5	382,7	383,2	383,8	383,8	381,1	770,1	0,223	
1,1	1,2	0,5	0,6	"	"	"	"	
399,7	400,9	401,4	402,4	402,4	399,0	802,6	0,229	
1,5	1,2	0,5	1,0	"	"	"	"	
394,2	395,3	395,7	396,3	396,3	391,4	787,1	0,224	
1,2	1,1	0,4	0,6	"	"	"	"	
MORTIER 1 : 3. SABLE NORMAL.								
453,7	454,9	455,6	455,9	455,9	451,5	845,2	0,167	
1,2	1,2	0,7	0,3	"	"	"	"	
446,5	447,8	448,5	448,8	448,8	443,5	832,7	0,175	
1,4	1,3	0,7	0,3	"	"	"	"	
450,6	452,0	452,4	452,5	452,5	446,2	839,2	0,166	
1,0	1,4	0,4	0,1	"	"	"	"	

1° SATURATION PAR SIMPLE

NUMÉROS des ÉPROUVETTES.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes à l'état sec. P.	POIDS DANS L'AIR après 1 jour d'immersion et poids d'eau absorbée.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'EAU APRÈS : (Les chiffres en caractère gras indiquent les augmentations de poids constatées dans ces									
			1 jour.	2 jours.	4 jours.	5 jours.	6 jours.	7 jours.	14 jours.	21 jours.	35 jours.	42 jours.
CIMENT PORTLAND. —												
1	818,6	855,4	464,2	464,9	465,4	465,9	466,3	467,0	471,4	472,5	474,7	475,5
		36,8	"	**0,7**	**0,5**	**0,5**	**0,4**	**0,7**	**4,4**	**1,1**	**2,2**	**0,8**
2	799,5	835,1	453,2	453,9	454,4	455,0	455,4	456,0	460,0	461,2	463,4	464,2
		35,6	"	**0,7**	**0,5**	**0,6**	**0,4**	**0,6**	**4,0**	**1,2**	**2,2**	**0,8**
3	804,8	841,0	455,5	456,2	456,7	457,4	458,0	458,7	463,0	464,2	466,6	467,5
		36,2	"	**0,7**	**0,5**	**0,7**	**0,6**	**0,7**	**4,3**	**1,2**	**2,4**	**0,9**
PÂTE DE												
1	580,6	695,2	307,0	307,2	307,3	307,4	307,6	307,9	310,4	310,8	312,5	313,2
		114,6	"	**0,2**	**0,1**	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**2,5**	**0,4**	**1,7**	**0,7**
2	568,2	690,3	300,7	301,0[1] *300.6*	300,8	300,9	301,0	301,2	303,7	304,4	305,9	306,5
		122,1	"	**0,3**	**0,2**	**0,1**	**0,1**	**0,2**	**2,5**	**0,7**	**1,5**	**0,6**
3	573,2	692,3	303,0	303,2[1] *303,0*	303,1	303,4	303,5	303,8	306,0	306,5	308,0	308,6
		119,1	"	**0,2**	**0,1**	**0,3**	**0,1**	**0,3**	**2,2**	**0,5**	**1,5**	**0,6**
PÂTE DE												
1	552,3	690,0	298,7	298,8	299,1	299,3	299,3	299,5	300,8	300,9	301,9	302,1
		137,7	"	**0,1**	**0,3**	**0 2**	**0,0**	**0,2**	**1,3**	**0,1**	**1,0**	**0,2**
2	553,2	689,3	296,8	297,2	297,6	297,7	297,8	298,0	299,3	299,6	300,5	300,7
		136,1	"	**0,4**	**0,4**	**0,1**	**0,1**	**0,2**	**1,3**	**0,3**	**0,9**	**0,2**
3	548,7	686,9	294,3	294,5	294,9	295,2	295,3	295,3	297,2	297,5	298,4	298,7
		138,2	"	**0,2**	**0,1**	**0,3**	**0,1**	**0,0**	**1,9**	**0,3**	**0,9**	**0,3**

IMMERSION DANS L'EAU DOUCE. (Suite.)

essées.)				POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées. p.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ en ne tenant pas compte de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
49 jours.	56 jours.	63 jours.	75 jours.					
MORTIER 1 : 3, GROS SABLE.								
476,7	477,2	477,9	478,2	478,2	475,2	871,5	0,141	
1,2	0,5	0,7	0,3	"	"	"	"	
465,3	466,0	466,4	466,5	466,5	462,9	851,2	0,142	
1,1	0,7	0,4	0,1	"	"	"	"	
468,4	469,4	470,1	470,4	470,4	465,7	857,8	0,147	
0,9	1,0	0,7	0,3	"	"	"	"	
CIMENT DE VASSY.								
313,4	313,9	314,2	314,8	314,8	311,8	700,7	0,317	
0,2	0,5	0,3	0,6	"	"	"	"	
306,8	307,5	307,7	308,2	308,2	305,7	696,0	0,334	
0,3	0,7	0,2	0,5	"	"	"	"	(1) Diminution de poids par suite de l'enlèvement d'un éclat.
308,9	309,3	309,4	309,9	309,9	307,5	698,0	0,326	
0,3	0,4	0,1	0,5	"	"	"	"	
CHAUX DU TEIL.								
302,0	302,3	302,3	302,5	302,5	302,0	694,5	0,364	
-0,1	0,3	0,0	0,2	"	"	"	"	
300,6	300,9	300,9	301,1	301,1	300,6	694,1	0,359	
-0,1	0,3	0,0	0,2	"	"	"	"	
298,6	298,9	298,7	299,0	299,0	298,5	692,0	0,366	
-0,1	0,3	-0,2	0,3	"	"	"	"	

2° SATURATION

NUMÉROS des ÉPROUVETTES.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes à l'état sec. P.	PRESSION RESTANT sous la cloche.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'EAU APRÈS: (Les chiffres en caractères gras indiquent les augmentations de poids constatées dans ces pesées.)							
			Aussitôt après.	30 minutes.	1 heure.	3 heures.	1 jour.	7 jours.	14 jours.	21 jours.
		mm.								
PÂTE DE										
4	803,7	25	"	474,0	477,8	"	481,9	483,3	"	"
			"	"	**3,8**	"	**4,1**	**1,4**	"	"
5	809,2	25	"	470,0	475,1	"	484,8	486,2	"	"
			"	"	**5,1**	"	**9,7**	**1,4**	"	"
6	803,7	25	"	469,1	475,2	"	481,9	483,2	"	"
			"	"	**6,2**	4	**6,7**	**1,3**	"	"
CIMENT PORTLAND. —										
4	716,0	22	441,5	441,7	441,7	441,8	441,9	443,2	442,6	"
			"	**0,2**	**0,0**	**0,1**	**0,1**	**0,3**	**0,4**	"
5	718,5	22	"	443,2	443,2	443,4	443,5	442,7	444,0	"
			"	"	**0,0**	**0,2**	**0,1**	**0,2**	**1,3**	"
6	717,0	22	"	442,1	442,2	442,3	442,3	442,5	442,7	"
			"	"	**0,1**	**0,1**	**0,0**	**0,2**	**0,2**	"
CIMENT PORTLAND. —										
4	788,9	25	"	486,6	486,7	486,7	487,0	487,5	487,8	487,9
			"	"	**0,1**	**0,0**	**0,3**	**0,5**	**0,3**	**0,1**
5	791,7	25	"	4,880	488,0	488,0	488,4	488,8	489,1	489,1
			"	"	**0,0**	**0,0**	**0,4**	**0,4**	**0,3**	**0,0**
6	787,7	25	"	485,7	485,7	485,8	486,0	486,8	487,0	487,0
			"	"	**0,0**	**0,1**	**0,2**	**0,8**	**0,2**	**0,0**

PAR LE VIDE.

35 jours.	42 jours.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après 42 jours. p.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ en ne TENANT PAS COMPTE de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
IMENT PORTLAND.						
"	"	483,3 (1)	482,5	875,5	0,185	(1) Après 7 jours d'immersion.
"	"	"	"	"	"	
"	"	486,2 (1)	485,3	878,7	0,179	
"	"	"	"	"	"	
"	"	483,2 (1)	482,2	873,9	0,182	
"	"	"	"	"	"	
ORTIER 1 : 3. SABLE FIN.						
442,8	443,0	443,0	441,4	840,5	0,316	
0,2	0,2	"	"	"	"	
444,3	444,7	444,7	442,2	842,8	0,317	
0,3	0,4	"	"	"	"	
443,2	443,5	443,5	440,7	839,0	0,313	
0,5	0,3	"	"	"	"	
ORTIER 1 : 3. SABLE NORMAL.						
488,0	488,2	488,2	487,7	883,5	0,240	
0,1	0,2	"	"	"	"	
489,3	489,2	489,2	485,0	883,9	0,242	
0,2	- 0,1	"	"	"	"	
487,2	487,5	487,5	486,9	881,9	0,240	
0,2	0,3	"	"	"	"	

2° SATURATION

NUMÉROS des ÉPROUVETTES.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes à l'état sec. P.	PRESSION RESTANT sous la cloche.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'EAU APRÈS : (Les chiffres en caractères gras indiquent les augmentations de poids constatées dans ces pesée							
			Aussitôt après.	30 minutes.	1 heure.	3 heures.	1 jour.	7 jours.	14 jours.	21 jours.
		mm.								
CIMENT PORTLAND. —										
4	830,6	25	"	511,9	512,2	512,2	512,4	513,4	"	513,8
			"	"	**0,3**	**0,0**	**0,2**	**1,0**	"	**0,4**
5	832,0	25	"	512,8	513,2	513,2	513,2	514,1	"	514,6
			"	"	**0,4**	**0,0**	**0,0**	**0,9**	"	**0,5**
6	853,5	25	"	526,9	526,9	526,9	527,1	527,8	"	528,2
			"	"	**0,0**	**0,0**	**0,2**	**0,7**	"	**0,4**
PÂTE DI										
4	578,0	25	265,0	297,1	306,0	319,5	321,5	321,6	"	322,2
			"	**32,1**	**8,9**	**13,5**	**2,0**	**0,1**	"	**0,6**
5	580,0	25	"	297,7	306,6	318,9	322,1	322,2	"	322,7
			"	"	**8,9**	**12,3**	**3,2**	**0,1**	"	**0,5**
6	571,9	25	"	294,2	303,5	316,7	318,0	318,0	"	318,3
			"	"	**9,3**	**13,2**	**1,3**	**0,0**	"	**0,3**
PÂTE D										
4	538,4	25	315,0	315,1	315,2	315,2	315,5	316,2	"	316,9
			"	**0,1**	**0,1**	**0,0**	**0,3**	**0,7**	"	**0,7**
5	536,3	25	"	314,3	314,3	314,3	314,7	315,2	"	316,0
			"	"	**0,0**	**0,0**	**0,4**	**0,5**	"	**0,8**
6	537,0	25	"	314,5	314,6	314,6	314,9	315,4	"	316,3
			"	"	**0,1**	**0,0**	**0,3**	**0,5**	"	**0,9**

PAR LE VIDE. (Suite.)

35 jours.	42 jours.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après 42 jours. p.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ en ne TENANT PAS COMPTE de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
MORTIER 1 : 3. GROS SABLE.						
514,0	514,1	514,1	507,0	911,4	0,217	
0,2	0,1	"	"	"	"	
514,6	514,7	514,7	508,9	909,0	0,207	
0,0	0,1	"	"	"	"	
528,4	528,5	528,5	522,5	928,2	0,199	
0,2	0,1	"	"	"	"	
CIMENT DE VASSY.						
322,4	322,8	322,8	318,7	709,9	0,348	
0,2	0,4	"	"	"	"	
322,9	323,3	323,3	318,6	709,9	0,344	
0,2	0,4	"	"	"	"	
318,5	318,9	318,9	314,4	705,1	0,352	
0,2	0,4	"	"	"	"	
CHAUX DU TEIL.						
317,1	317,2	317,2	316,2	707,5	0,435	
0,2	0,1	"	"	"	"	
316,2	316,3	316,3	315,2	707,2	0,439	
0,2	0,1	"	"	"	"	
316,6	317,0	317,0	315,5	707,4	0,439	
0,3	0,4	"	"	"	"	

3° SATURATION PAR

NUMÉROS des ÉPROUVETTES.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes à l'état sec. P.	TEMPÉRATURE DE L'EAU.	DURÉE DU SÉJOUR des éprouvettes dans l'eau bouillante.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'EAU APRÈS : (Les chiffres en caractères gras indiquent les augmentations de poids constatées dans ces pesées.) 1 jour.	2 jours.	6 jours.	7 jours.	28 jours.
								PÂTE DE
7	800,5	100°	2 heures.	467,9	"	469,5	"	"
				"	"	**1,6**	"	"
8	804,9	100°	2 heures.	470,0	"	471,7	"	"
				"	"	**1,7**	"	"
9	803,4	100°	2 heures.	469,7	"	471,5	"	"
				"	"	**1,8**	"	"
								CIMENT PORTLAND. —
7	716,0	100°	2 heures.	440,1	440,2	"	441,1	442,0
				"	**0,1**	"	**0,9**	**0,9**
8	720,7	100°	2 heures.	443,0	443,2	"	443,8	445,3
				"	**0,2**	"	**0,6**	**1,5**
9	711,8	100°	2 heures.	437,9	438,0	"	438,6	439,3
				"	**0,1**	"	**0,6**	**0,7**
								CIMENT PORTLAND. —
7	800,5	100°	2 heures.	493,5	493,6	"	494,0	494,9
				"	**0,1**	"	**0,4**	**0,9**
8	788,8	100°	2 heures.	487,2	487,3	"	487,6	488,1
				"	**0,1**	"	**0,3**	**0,5**
9	794,1	100°	2 heures.	490,0	490,0	"	490,4	491,0
				"	**0,0**	"	**0,4**	**0,6**

L'EAU BOUILLANTE.

POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après 28 jours. p.	POIDS DANS L'EAU des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ EN NE TENANT PAS COMPTE de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p')-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
CIMENT PORTLAND.				
469,5 (1)	468,7	860,6	0,156	(1) Après six jours d'immersion.
"	"	"	"	
471,7 (1)	470,9	865,1	0,150	Les éprouvettes de cette série ont été placées dans l'eau froide (12 degrés environ), pendant 24 heures, puis l'eau a été amenée graduellement à l'ébullition et maintenue 2 heures à cet état.
"	"	"	"	
471,5 (1)	470,7	866,5	0,157	
"	"	"	"	
MORTIER 1 : 3. SABLE FIN.				
442,0	434,3	831,5	0,310	
"	"	"	"	
445,3	441,9	841,4	0,311	Les éprouvettes de cette série ont été placées dans de l'eau froide que l'on a amenée progressivement à l'ébullition et maintenue 2 heures à cet état.
"	"	"	"	
439,3	431,3	823,0	0,304	
"	"	"	"	
MORTIER 1 : 3. SABLE NORMAL.				
494,9	491,5	890,9	0,235	
"	"	"	"	
488,1	484,9	875,3	0,230	Les éprouvettes de cette série ont été placées dans de l'eau froide que l'on a amenée progressivement à l'ébullition et maintenue 2 heures à cet état.
"	"	"	"	
491,0	486,2	883,8	0,238	
"	"	"	"	

3° SATURATION PAR

NUMÉROS des ÉPROUVETTES.	POIDS DANS L'AIR des éprouvettes à l'état sec. P.	TEMPÉRATURE DE L'EAU.	DURÉE DU SÉJOUR des éprouvettes dans l'eau bouillante.	PESÉES SUCCESSIVES DANS L'EAU APRÈS : (Les chiffres en caractères gras indiquent les augmentations de poids constatées dans ces pesées)				
				1 jour.	2 jours.	6 jours.	7 jours.	28 jours.
CIMENT PORTLAND. —								
7	805,0	100°	2 heures.	495,8	496,2	"	496,5	497,7
				"	**0,4**	"	**0,3**	**1,2**
8	815,5	100°	2 heures.	502,3	502,5	"	502,8	503,7
				"	**0,2**	"	**0,3**	**0,9**
9	811,6	100°	2 heures.	498,9	499,2	"	499,7	500,7
				"	**0,3**	"	**0,5**	**1,0**
PÂTE DE								
7	568,3	100°	2 heures.	299,7	299,9	"	300,7	302,4
				"	**0,2**	"	**0,8**	**1,7**
8	565,7	100°	2 heures.	298,7	298,7	"	299,2	300,8
				"	**0,2**	"	**0,5**	**1,6**
9	562,6	100°	2 heures.	298,4	298,5	"	298,8	300,4
				"	**0,1**	"	**0,3**	**1,6**
PÂTE DE								
7	551,8	100°	2 heures.	319,5	319,5	"	320,4	322,2
				"	**0,0**	"	**0,9**	**1,8**
8	551,8	100°	2 heures.	319,1	319,4	"	320,3	322,2
				"	**0,3**	"	**0,9**	**1,9**
9	553,0	100°	2 heures.	320,2	320,3	"	3.212	323.
				"	**0,1**		**0,9**	**2,1**

'EAU BOUILLANTE. (Suite.)

POIDS dans l'eau des éprouvettes saturées après 28 jours. p.	POIDS dans l'eau des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. p'.	POIDS dans l'air des éprouvettes saturées après pose d'un enduit de suif. P'.	POROSITÉ en ne tenant pas compte de l'enduit de suif. $\frac{(P'-p)-(P-p)}{(P'-p')}$.	OBSERVATIONS.
ORTIER 1 : 3. GROS SABLE.				
497,7	494,0	890,9	0,226	Les éprouvettes de cette série ont été placées dans l'eau froide que l'on a amenée graduellement à l'ébullition et maintenue pendant 2 heures à cet état.
"	"	"	"	
503,7	499,8	898,0	0,217	
"	"	"	"	
500,7	496,5	889,0	0,208	
"	"	"	"	
MENT DE VASSY.				
302,4	301,5	692,8	0,320	
"	"	"	"	
300,8	300,1	689,5	0,320	*Idem.* Fissuré.
"	"	"	"	
300,4	299,8	689,9	0,328	
"	"	"	"	
IAUX DU TEIL.				
322,2	321,2	712,6	0,413	
"	"	"	"	
322,2	321,2	712,8	0,414	*Idem.* Fissuré.
"	"	"	"	
323,3	322,2	714,9	0,415	
"	"	"	"	

SUR

LA COMPOSITION DE L'EAU DE MER ARTIFICIELLE

DESTINÉE AUX ESSAIS DE CIMENTS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. H. LE CHATELIER.

La composition de l'eau de mer, dont l'étude nous a été confiée par le Sous-Comité[1], est beaucoup moins variable qu'on ne le suppose souvent. Les écarts considérables que l'on trouve signalés tiennent, en laissant de côté les petites mers fermées, à ce que les auteurs donnent, sans d'ailleurs l'indiquer, les poids des sels de magnésie tantôt à l'état anhydre, tantôt à l'état hydraté; cela suffit pour amener une variation du simple au double dans le poids de ces sels.

En fait la proportion de chacun des sels ne varie pour les grandes mers : océan Atlantique, océan Indien, océan Pacifique, mer Méditerranée, que de 5 p. 100 en plus ou en moins de sa teneur moyenne.

Proportion totale de sels anhydres dans un litre d'eau de mer.

		g.
Vincent. Voyage de *l'Isis* dans les océans Atlantique et Pacifique	De 35 à	39
Forchammer. (Mer du Nord.)		33
Idem. (Atlantique.)		34,3
Idem. (Méditerranée.)		37,5
Usiglio. (Méditerranée.)		37,7
Thorpe. (Mer d'Irlande.)		35,85
Dittmar. Voyage du *Challenger* dans les océans Indien et Atlantique	De 33 à	37
Candlot. (Manche.)		35,7

Dans les nombres de Vincent, il est probable, d'après le mode opératoire employé, que les sels de magnésie ont été pesés partiellement hydratés et que leur teneur devrait être diminuée de deux unités. Il faut donc, pour les côtes françaises, admettre un écart de 34,3 à 37,5, soit de 5 p. 100 en plus ou en moins sur la salure moyenne.

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

Chlorure de sodium. — Les variations extrêmes sont renfermées entre les deux limites :

	g.
Mer d'Irlande et Manche	26
Méditerranée	30,5

Sels de magnésie. — Les termes extrêmes pour les deux mêmes mers, aux erreurs près d'expériences, sont de :

	$MgCl$	$MgO\ SO^3$
	g.	g.
Mer d'Irlande et Manche	3,15	2,06
Méditerranée	3,38	2,54

Sulfate de chaux. — (Pesé anhydre.)

	g.
Mer d'Irlande et Manche	1,33
Méditerranée	1,46

Acide carbonique. — M. Schlœsing a montré que dans les eaux de la mer l'acide carbonique était presque entièrement à l'état de bicarbonate; la moitié seulement se dégage par l'ébullition.

Dittmar, en analysant 77 échantillons rapportés par le *Challenger* d'un voyage effectué dans les océans Indien et Atlantique, a trouvé, pour l'acide carbonique dégagé par un litre d'eau de mer, 38 à 57 milligrammes.

M. Schlœsing a trouvé dans l'eau de la Manche prise à Fécamp une teneur absolument invariable de 49 mg. 7, sur lesquels 49,15 étaient engagés dans des bicarbonates et 0,55 à l'état libre.

Conclusions. — L'eau de mer qui baigne les côtes de France présente une composition assez uniforme pour qu'on puisse lui substituer dans les essais une eau de mer artificielle de composition invariable. Il semble convenable de se rapprocher davantage de l'eau de la mer la plus chargée en sels, c'est-à-dire de celle de la Méditerranée. On pourrait composer comme suit cette eau de mer artificielle :

		g.
Chlorure de sodium	$NaCl$	30
Sulfate de magnésie cristallisé	$MgO.\ SO^3.\ 7HO$	5
Chlorure de magnésium cristallisé	$MgCl.\ 6\ HO$	6
Sulfate de chaux hydraté	$CaO.\ SO^3.\ 2HO$	1,5
Bicarbonate de potasse	$KO.\ HO.\ 2CO^2$	0,2
Eau distillée, de pluie ou de rivière bouillie		1.000

Ce qui conduirait à la composition suivante rapportée au litre en admettant que la densité de cette solution égale à celle de l'eau de mer est de 1,025.

		Artificielle.	Méditerranée.
		g.	g.
Sodium	Na	11,6	11,5
Magnésium	Mg	1,27	1,3
Calcium	Ca	0,35	0,4
Potassium	K	0,08	0,5
Chlore	Cl	20,2	20,4
Acide sulfurique	$SO^3\ HO$	2,76	2,9
Acide carbonique disponible		0,0440	0,0497

Quand on n'a pas à sa disposition d'eau distillée ou d'eau de pluie, il est indispensable de faire bouillir l'eau de rivière pour décomposer les bicarbonates. On ne doit pas employer l'eau de puits qui renferme souvent du sulfate de chaux.

Paris, le 12 novembre 1892.

H. LE CHATELIER.

SUR

LES ESSAIS D'ADHÉRENCE.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. E. CANDLOT.

Le rôle des chaux et des ciments dans les constructions n'est pas seulement d'agglomérer les sables auxquels on les mélange pour obtenir une matière solide destinée soit à remplir les vides des maçonneries, soit à former des pierres factices, des monolithes, etc. Ces produits doivent le plus souvent relier entre eux les matériaux entre lesquels le mortier est interposé; la propriété qu'ils possèdent d'adhérer plus ou moins fortement à ces matériaux est, par conséquent, des plus importantes et on s'est préoccupé depuis longtemps de rechercher un moyen propre à examiner la force d'adhérence des divers produits hydrauliques.

Il peut paraître, au premier abord, que l'adhérence d'un mortier à une pierre dépend beaucoup plus de l'état de la surface de celle-ci et de sa nature que du ciment employé à la confection du mortier; on peut donc se demander s il est bien utile de déterminer la force d'adhérence d'un ciment ou d'une chaux puisque les conditions de l'emploi du mortier ont une importance plus grande que le choix de l'agglomérant. Il est certain qu'un pareil essai n'aurait pas grande valeur s'il était pris isolément et il ne serait pas possible d'en tirer une indication utilisable en pratique; mais si on dirige les recherches en comparant entre eux des produits divers ou des surfaces d'adhérence de différentes natures, on arrive alors à des constatations qui ont un véritable intérêt pour le constructeur et que nous soumettons au Sous-Comité[1]. C'est ainsi, pour ne citer que quelques exemples, que les essais d'adhérence permettent de constater que le mortier regâché après avoir fait prise possède une force d'adhérence beaucoup moins grande que le même mortier gâché et mis en place avant la prise, la résistance à la traction et à la compression de ces deux mortiers restant cependant à très peu près la même; que les mortiers gâchés secs ont une adhérence plus faible que les mortiers gâchés un peu liquides; que les mortiers gâchés avec excès d'eau ont à la traction une résistance moindre que leur force d'adhérence, etc.

L'utilité de pareils essais ne saurait donc être contestée.

Les matériaux qui doivent être reliés entre eux par le mortier n'ont, presque jamais, aucune action chimique sur celui-ci; il peut arriver cependant qu'ils aient une composition telle qu'ils agissent comme pouzzolane vis-à-vis de l'agglomérant. D'autre part, l'état de la surface en contact avec le mortier favorise plus ou moins l'adhérence. Les essais doivent pouvoir, par consé-

---

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

quent, être dirigés de manière à étudier tantôt l'adhérence des divers produits hydrauliques à une matière certainement inerte, préparée toujours de la même manière, et prise pour type, tantôt l'influence de la composition chimique et de la constitution physique des divers matériaux sur les agglomérants.

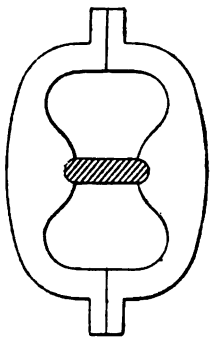


Fig. 1.

Les premières tentatives faites pour déterminer d'une manière précise la force d'adhérence des ciments aux matériaux de construction ont été faites en Allemagne par le Dr W. Michaëlis.

Il avait d'abord imaginé de placer au milieu d'un moule ordinaire à briquette en forme de 8 une petite plaque de terre cuite de 1 centimètre d'épaisseur environ (fig. 1). Cette plaque séparait le moule en deux parties que l'on remplissait avec le mortier à essayer. Celui-ci adhérait plus ou moins fortement à la terre cuite et, quand la prise était faite, on avait une briquette de la forme ordinaire que l'on pouvait rompre à la manière habituelle.

Ce procédé ne donna pas de résultats satisfaisants et son auteur lui-même renonça bientôt à l'employer.

Le Dr Michaëlis réalisa ensuite une disposition qui eut pendant quelques années une certaine faveur.

Le mortier à essayer était étendu sur une plaque de verre dépoli ayant 5 cm. de largeur sur 10 cm. de longueur. Sur cette plaque on en disposait une autre de mêmes dimensions, en croix, et à l'aide d'un dispositif particulier, le mortier était comprimé entre les deux plaques de manière qu'il eût toujours une épaisseur de 3 cm. On laissait le mortier durcir sous l'eau.

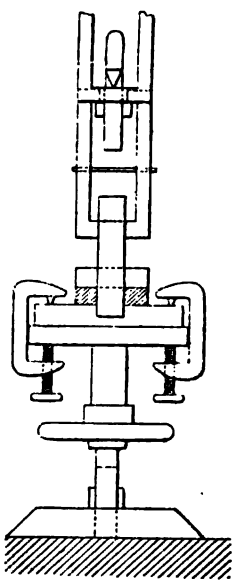


Fig. 2.

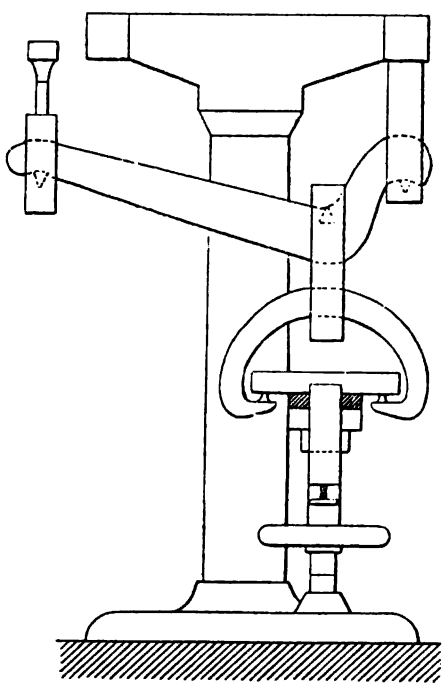


Fig. 3.

Pour disjoindre les plaques de verre on se servait de l'appareil ordinaire à traction auquel on adaptait des griffes spéciales comme le montrent les figures ci-contre (fig. 2 et 3).

Une des principales difficultés de ce procédé provenait de ce que le verre agissait comme pouzzolane sur la chaux des mortiers; de plus, l'eau contenue en excès dans le mortier, ne trouvant aucune issue à cause de l'imperméabilité absolue du verre, formait sur une des faces une couche isolante et empêchait l'adhérence de se produire régulièrement. Les résistances obtenues étaient très variables et sans concordance; aussi cette méthode a-t-elle été complètement abandonnée.

On emploie encore, en Suisse notamment, le procédé suivant :

On prépare des blocs de marbre ayant 4 cm. de côté et 2 cm. de hauteur; deux trous coniques sont ménagés sur deux des côtés des blocs. Pour placer le mortier à essayer sur le bloc on emploie un moule en forme d'entonnoir. Le bloc étant placé dans le moule, dont il occupe exactement le fond, on achève de remplir celui-ci avec le mortier d'essai. Quand le mortier a fait prise, on a une éprouvette de la forme ci-contre (A de la figure 4).

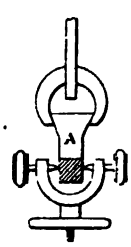


Fig. 4.

Pour rompre l'adhérence du mortier avec le bloc de marbre, on engage celui-ci dans une griffe spéciale terminée par des pointes que des vis permettent d'introduire dans les cavités dont on a parlé plus haut. La partie inférieure de l'éprouvette étant évasée est prise dans une griffe ordinaire et on opère l'arrachement à l'aide de l'appareil habituel des essais de traction (fig. 4).

La préparation des blocs de marbre est assez coûteuse; il est difficile de s'en

procurer et d'obtenir des blocs ayant une surface absolument identique. Aussi, bien que les résultats fussent assez satisfaisants, cette manière de faire ne s'est pas développée.

Pour remédier aux défauts des appareils précédents le Dr Michaëlis s'est arrêté au procédé suivant qu'il a décrit dans le *Baugewerks-Zeitung* du 4 février 1891.

Il remplace les blocs en verre ou en marbre par des blocs de mortier composés de deux parties de sable normal et une partie de ciment portland. Ces pièces sont faciles à exécuter; de plus, le mortier n'est pas absolument imperméable et, lorsqu'on le recouvre de mortier frais, il ne reste pas à la surface des bulles d'air ou de l'eau emprisonnée, comme cela se produisait avec le verre ou le marbre.

Pour confectionner les blocs d'adhérence, on se sert d'un moule formé de deux parties (fig. 5) reliées par des vis de serrage *s*, *s*. On remplit le moule à la manière ordinaire en gâchant le mortier avec peu d'eau et en comprimant fortement. (Le ciment doit être de la meilleure qualité de ciment portland et passé au tamis de 900 mailles.) On démoule en remplaçant les vis de serrage par des vis de pression *d*. Après vingt-quatre heures de séjour à l'air les pièces sont placées dans l'eau et conservées ainsi jusqu'au moment de l'emploi. Quand on veut les utiliser on use à la lime les parois latérales jusqu'à ce que le prisme puisse s'encastrer exactement dans le fond d'un moule en forme d'entonnoir sem-

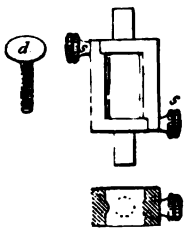


Fig. 5.

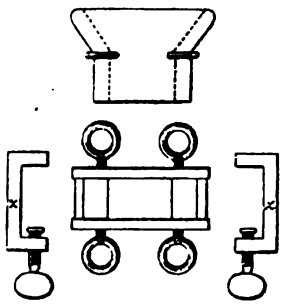


Fig. 6.

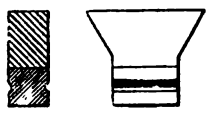
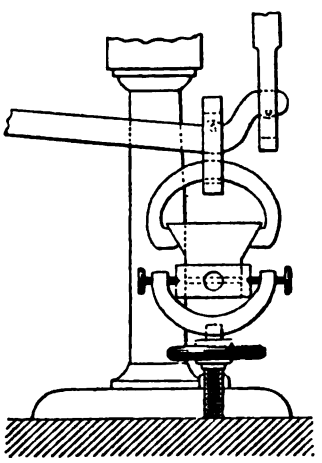


Fig. 7.

blable à celui dont il a été question plus haut (fig. 6). La face qui doit recevoir le mortier à essayer est dépolie pendant une minute avec du papier d'émeri n° 3 (on a eu soin de laisser sécher le bloc d'adhérence). Le bloc étant convenablement préparé et mis en place, on remplit le moule avec le mortier d'essai et aussitôt on démoule en ayant soin de maintenir le mortier frais appliqué sur le bloc d'adhérence. Pour y parvenir, on place le moule et son contenu sur un noyau en bois de largeur un peu moindre que le prisme de mortier et d'une hauteur plus grande que celle du moule. En exerçant avec précaution une légère pression sur les côtés du moule, on le fait descendre, et tout son contenu reste sur le noyau en bois; le mortier se trouve ainsi démoulé, et on a une éprouvette telle que l'indique la figure 7; on la conserve vingt-quatre heures à l'air et ensuite dans l'eau jusqu'au moment où on doit la rompre.

Pour déterminer la résistance d'adhérence, on remplace les griffes de l'appareil ordinaire par deux pinces K_1, K_2 (fig. 8). La pince inférieure K_1 a deux vis de calage dont les pointes viennent se placer dans des empreintes correspon-



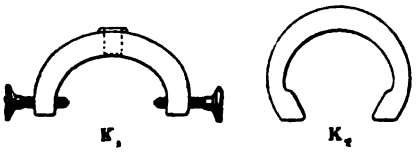


Fig. 8.

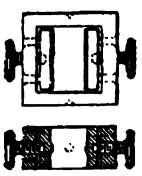


Fig. 9.

Fig. 10.

dantes sur l'appareil d'attelage (fig. 9). Cet appareil d'attelage se compose d'un cadre en bronze dans lequel s'encastre exactement le bloc d'adhérence; celui-ci porte deux gorges à l'aide desquelles il se maintient dans le cadre et il est fixé complètement par des vis de serrage. L'éprouvette étant placée dans les griffes, la rupture est obtenue comme pour les essais de résistance à la traction (fig. 10).

La surface du prisme a $3 \times 5 = 15$ cm². ; son épaisseur est de 3 cm. Quand un prisme a été

utilisé, on peut s'en servir de nouveau en préparant préalablement la surface qui doit recevoir le mortier avec le papier émeri n° 3.

Si on veut essayer l'adhérence d'un mortier à d'autres substances, telles que briques, marbre, etc., on prépare des blocs de mêmes dimensions que les prismes en mortier.

D'après le Dr Michaëlis, les essais faits avec cet appareil ont donné des résultats absolument satisfaisants.

M. le Dr Tomei a exécuté une série d'expériences avec l'appareil Michaëlis; il a reconnu qu'il était préférable de laisser durcir les éprouvettes dans le moule au lieu de démouler immédiatement; puis, au lieu d'introduire le mortier à essayer dans le moule en le comprimant fortement, il a préféré employer un mortier à consistance plastique qu'il a simplement tassé dans le moule sans opérer de battage à la spatule.

La battage a pour effet de séparer le ciment du sable, surtout si on a employé un excès d'eau même très faible; la couche de mortier en contact avec le bloc d'adhérence est alors beaucoup plus riche en ciment que le reste du mortier, et on ne peut pas avoir de résultat exact. Le même inconvénient se produirait d'ailleurs avec un mortier non tassé, mais contenant un trop grand excès d'eau; si le ciment est à prise très lente et que l'on emploie le dosage 1 : 3, on aura toujours un afflux de ciment à la partie inférieure du mortier. C'est là une difficulté qui ne paraît devoir être évitée qu'en adoptant un mortier d'essai à dosage un peu plus riche, 1 de ciment pour 2 de sable, par exemple.

Le Dr Michaëlis s'est rallié au mode d'opérer employé par le Dr Tomei, et il déclare qu'il renoncera à l'avenir à battre le mortier et qu'il se contentera de le préparer avec plus d'eau, de manière à en former une bouillie plastique.

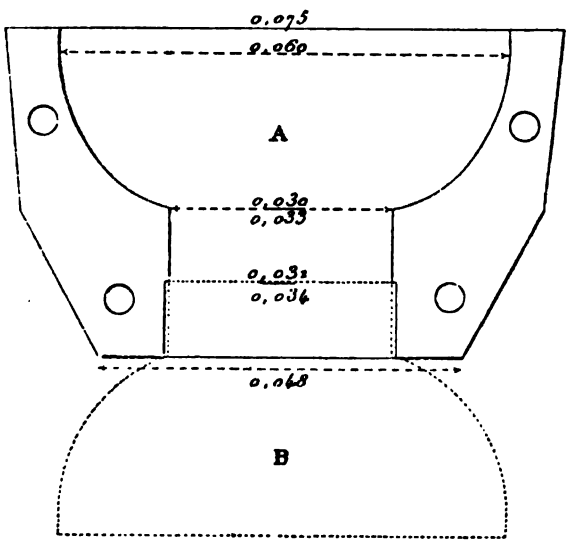


Fig. 11.

Il ne nous reste plus maintenant qu'à exposer le procédé que nous avons imaginé et qui est basé sur le même principe que celui du Dr Michaëlis, que nous nous sommes efforcé de simplifier.

Nous employons un moule assez semblable à ceux dont on a parlé précédemment (fig. 11, A). Il se termine par une partie droite à section carrée de 0 m. 03 × 0 m. 0333 et de 0 m. 02 de hauteur. A la partie inférieure du moule et sur 0 m. 01 de hauteur, la section est un peu plus grande, soit 0 m. 031 × 0 m. 0340; un petit bloc de bronze de mêmes dimensions se place dans cette partie du moule qu'il remplit exactement.

Pour préparer les pièces d'adhérence, c'est-à-dire les blocs sur lesquels on appliquera plus tard le mortier à essayer, on laisse le bloc de bronze au fond du moule, et on remplit celui-ci de mortier comprimé fortement. Le mortier est composé de une partie de ciment portland passé au tamis de 900 mailles et de deux parties d'un sable normal préparé à l'aide de tamis de 144 et 324 mailles. On obtient ainsi un mortier qui, après avoir fait prise, présente un grain serré, uniforme, et que l'on peut dresser facilement; avec le sable normal ordinaire, il se trouve presque toujours sur la surface des trous produits par suite de l'arrachement de grains de sable mal agglomérés.

Les blocs d'adhérence peuvent être démoulés immédiatement; on les laisse vingt-quatre heures à l'air, puis on les maintient immergés dans de l'eau douce jusqu'au moment de l'essai et au moins pendant vingt-huit jours. Quand on veut faire une expérience, on les laisse sécher et on dépolit la surface qui doit recevoir le mortier d'essai avec du papier émeri n° 3.

Pour confectionner une éprouvette pour essai d'adhérence, on se sert du même moule, mais on enlève le bloc en bronze et on le remplace par un bloc d'adhérence que l'on introduit dans le moule en le plaçant sens dessus dessous (fig. 11, B); si on n'avait pas laissé à cette partie du moule une plus grande largeur, on n'aurait pu introduire le bloc de mortier qu'après avoir usé les faces latérales, ce qui eût demandé un travail assez considérable.

On remplit ensuite le moule avec le mortier d'essai. Celui-ci est composé de une partie de ciment ou de chaux et de deux parties de sable normal, à moins que l'on ne désire expéri-

menter d'autres dosages. On gâche le mortier à consistance plastique avec la quantité d'eau strictement nécessaire pour que le mortier puisse être introduit dans le moule et qu'il le remplisse bien sans opérer de battage à la spatule; un léger tassement à la truelle doit suffire.

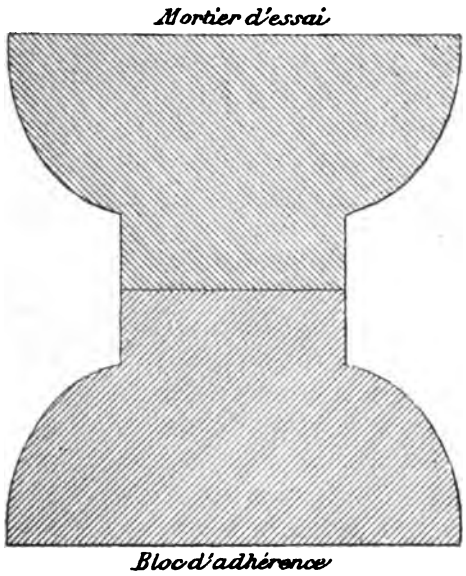


Fig. 12.

On peut démouler immédiatement ou mieux après la prise, et dans tous les cas, en ayant soin de ne faire subir à l'éprouvette aucun mouvement susceptible de produire le décollement du mortier.

L'éprouvette démoulée est conservée à l'air pendant vingt-quatre heures, puis on la maintient immergée jusqu'au moment de la rupture. Comme elle a la forme d'une briquette (fig. 12) et que ses dimensions lui permettent d'être saisie par les griffes de la machine à essayer les briquettes en 8, il n'y a absolument rien à changer à cet appareil et la rupture s'opère de la manière ordinaire. L'expérience se fait donc très simplement et n'exige qu'un matériel très restreint.

On peut exécuter avec la même facilité les essais dans lesquels on désire étudier l'influence de la nature de la surface d'adhérence.

Si l'on avait à essayer du marbre, par exemple, il suffirait de faire tailler un bloc de 0,03 × 0,033 de largeur et d'une épaisseur quelconque; une des faces seulement serait préparée. Cette pièce serait mise dans le fond du moule, le bloc de bronze étant en place, puis on remplirait le moule avec du ciment pur; une fois le ciment pris, on aurait un bloc d'adhérence dont la surface à utiliser serait constituée par la matière à essayer.

Résultats obtenus. — Nous n'avons pu exécuter que quelques séries d'essais avec l'appareil que nous venons de décrire. Voici les premiers résultats de ces expériences faites avec des ciments de différentes natures :

	A.				B.		C.		D.	
DOSAGE DU MORTIER	1 : 3	1 : 3	1 : 2	1 : 2	1 : 3	1 : 2	1 : 3	1 : 2	1 : 3	1 : 2
QUANTITÉ D'EAU POUR 100	12	13,8	9,5	15	12	13	15	17	12	13
RÉSISTANCE PAR CM²	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.	kg.
7 jours	7,5	9,5	10,0	10,5	2,5	2,5	2,5	3,0	4,2	4,6
	13,7	9,2	10,2	10,7	2,5	3,0	2,7	3,5	4,2	4,6
	9,2	11,0	9,5	9,0	2,0	2,5	2,7	2,5	4,0	5,0
	11,0	10,7	9,5	"	2,0	3,5	"	2,5	4,7	5,8
	"	"	"	"	2,5	"	"	"	4,0	7,5
MOYENNES	10,3	10,1	9,7	10,1	2,3	2,9	2,6	2,9	4,2	5,5
28 jours	11,5	13,5	13,2	12,5	6,5	10,0	5,5	6,7	10,7	6,7
	12,5	14,5	20,7	10,7	5,7	8,0	5,2	5,5	9,0	6,2
	12,5	15,5	8,7	13,5	6,0	8,0	5,0	8,2	8,0	5,2
	14,0	15,5	13,0	11,0	4,2	6,0	5,7	7,0	7,5	"
	"	"	"	"	4,7	7,2	"	6,2	"	"
MOYENNES	12,6	14,7	13,9	11,9	5,4	7,8	5,4	6,7	8,8	6,0

Le fait le plus important qui se dégage tout d'abord de ces expériences, c'est que les résistances sont régulières; les écarts sont relativement faibles entre les résistances d'une même série ;

il ne s'est produit qu'une seule anomalie (col. 3, résistance à 28 jours). Les résistances sont à peu près les mêmes pour le mortier 1 : 3 et pour le mortier 1 : 2 et le mortier gâché avec peu d'eau et comprimé paraît donner des résistances moins régulières.

Enfin les résistances constatées varient très sensiblement d'une classe de ciment à une autre.

A titre de comparaison nous donnerons encore quelques résultats d'expériences exécutées à l'aide de l'appareil employé par M. Tetmajer:

1° Essais exécutés à l'École des Ponts et Chaussées.

NATURE DU BLOC. D'ADHÉRENCE.	DÉSIGNATION DE L'AGGLOMÉRANT.	DOSAGE DES MORTIERS.	QUANTITÉ D'EAU de gâchage.	RÉSISTANCE PAR CM² après 28 jours.
			p. 100.	kg.
Grès n° 1	Ciment portland	1:2	9	5,50 8,80
	Chaux hydraulique	1:2	15	2,60 1,40
Grès n° 2	Ciment portland	1.2	9	5,60 7,40
	Chaux hydraulique	1:2	15	2,40 2,00
Verre dépoli	Ciment portland	1:2	9	3,80 3,10
	Chaux hydraulique	1:2	15	3,10
Marbre	*Idem*	1:2	15	2,20

2° Essais exécutés au laboratoire de la Société des ciments français de Boulogne-sur-Mer.

Dans ces essais on a employé uniquement des blocs en marbre.

DÉSIGNATION DU MORTIER.		QUANTITÉS D'EAU de gâchage.	CHARGE PAR CM² ayant déterminé la rupture après 7 jours.	CHARGE PAR CM² ayant déterminé la rupture après 28 jours.	OBSERVATIONS.
1° CIMENTS PORTLANDS.			kg.	kg.	
Mortiers comprimés.	Mortier 1:3. — Sable normal	10	3,10	7,08	
		"	1,70	3,10	Mortier regâché.
	Idem	10	3,70	7,80	
		"	1,70	2,23	*Idem.*
	Idem	11	"	7,73	
	Mortier 1:3. — Sable fin des dunes	11	"	3,10	
	Idem	11	"	4,30	
Mortiers gâchés à consistance plastique.	Mortier 1:3. — Sable normal	14	"	8,33	
		"	"	3,75	*Idem.*
	Idem	14	"	5,20	
		"	"	3,85	*Idem.*
	Idem	14	"	5,47	
		"	"	3,06	*Idem.*
	Mortier 1:3. — Sable fin des dunes	18	"	5,50	
	Idem	18	"	5,30	
2° CIMENT DE LAITIER.					
Mortier 1:3. — Sable normal		10	3,22	4,16	
3° CIMENT À PRISE RAPIDE.					
Mortier 1:3. — Sable normal		10	"	4,06	

Les expériences dont les résultats viennent d'être exposés sont encore peu nombreuses, et il serait prématuré d'en tirer des conclusions fermes; elles peuvent cependant faire espérer que l'étude de l'adhérence des mortiers aux matériaux de construction donnera des indications intéressantes.

La méthode que nous avons indiquée et l'emploi du moule qui a été décrit précédemment (fig. 12) permettent d'exécuter ces essais d'une manière simple, pratique et suffisamment précise. On ne peut songer, du moins quant à présent, à les introduire dans les cahiers des charges pour des réceptions de fournitures; ils doivent être réservés pour des études de laboratoire lorsque, en vue d'un travail à exécuter, on aura à rechercher quels sont les matériaux qui doivent être employés de préférence.

En ce qui concerne la matière à employer comme type pour examiner l'adhérence des différents agglomérants, on ne peut encore la fixer d'une manière définitive. Les blocs d'adhérence en mortier 1:2 avec ciment portland et sable normal paraissent donner de très bons résultats; ils présentent l'avantage d'être faciles à exécuter dans tous les laboratoires. Mais, bien que cela soit très probable, il faudrait savoir si ce mortier est certainement inerte et s'il n'est pas plus favorable pour certaines catégories d'agglomérants que pour d'autres.

On devra donc comparer des blocs d'adhérence faits avec différents ciments et examiner si les résultats sont semblables à ceux que donnent des substances telles que le grès ou le marbre. Si le mortier est reconnu comme ne donnant pas toute satisfaction, on aura à choisir entre les matériaux qui peuvent se tailler sans de trop grandes difficultés et qui présentent des surfaces toujours homogènes, telles que le marbre, le grès ou le quartz.

Le dosage et la confection du mortier d'essai peuvent évidemment varier suivant les recherches que l'on veut faire et les résultats que l'on cherche. On reconnaîtra cependant que l'on doit renoncer à certains dosages; nous avons fait observer précédemment que dans les mortiers riches en sable l'agglomérant se sépare toujours un peu du sable, et très souvent l'adhérence est plus grande que la résistance à la traction.

Cet inconvénient ne peut être évité que si l'on emploie un mortier dans lequel les vides du sable sont remplis complètement par le ciment ou la chaux. C'est ainsi que le Dr Michaëlis a été conduit à adopter le mortier 1:2, et nous pensons qu'il y a lieu de s'en tenir à ce dosage.

Nous avons indiqué également pourquoi les mortiers comprimés fortement ne peuvent pas donner de résultats concordants.

Il paraît donc rationnel d'adopter pour les essais d'adhérence le mortier 1:2 gâché à consistance plastique.

CONCLUSIONS.

En résumé, nous pensons que les essais d'adhérence peuvent procurer des renseignements très utiles.

Nous avons l'honneur de proposer de recommander, pour exécuter les essais d'adhérence, l'emploi de l'éprouvette spéciale de 10 centimètres carrés de section, confectionnée à l'aide du moule dont le dessin a été donné plus haut (fig. 11).

1° L'essai normal destiné à comparer la force d'adhérence des divers agglomérants hydrauliques se fera de la manière suivante :

a. On préparera des blocs d'adhérence, composés d'une partie de ciment portland artificiel de la meilleure qualité, passé au tamis de 900 mailles, et de deux parties de sable quartzeux (obtenu par le concassage du quartz bluté à l'aide de tôles perforées de 1 mm. et de 0 mm. 50). Provisoirement on pourra employer pour le blutage du sable quartzeux les tamis de 144 et 324 mailles qui correspondent à très peu près aux tôles perforées de 1 mm. et 0 mm. 50.

Le mortier sera gâché avec 9 p. 100 d'eau et comprimé très fortement dans le moule. Les blocs d'adhérence seront immergés dans l'eau douce au bout de vingt-quatre heures et ils y séjourneront jusqu'au moment de l'emploi et au moins pendant vingt-huit jours. Quand on voudra les utiliser, on les laissera sécher, puis on passera la surface d'adhérence au papier d'émeri.

b. Le mortier à essayer sera composé d'une partie de ciment ou de chaux pour deux de sable normal, en poids. Le mortier sera gâché à consistance de pâte plastique, en ayant soin

d'éviter l'excès d'eau; il sera introduit dans le moule sans battage, par un simple tassement à la truelle.

Le démoulage se fera une fois la prise complètement terminée.

On fera un nombre d'éprouvettes suffisant pour en rompre six à chaque période de rupture.

Après vingt-quatre heures et, dans tous les cas, après la prise, les éprouvettes seront immergées; elles seront rompues aux dates fixées pour les essais de résistance à la traction.

2° Si l'on désire exécuter des essais avec des blocs d'adhérence composés de sables ou d'agglomérants de différentes natures, il est recommandé d'employer le procédé et le dosage indiqués en *a*.

Dans le cas où on voudra comparer l'adhérence d'un agglomérant à diverses matières, on préparera des plaques de la matière à essayer de 0,03 × 0,033 et d'une épaisseur de quelques millimètres; une des faces seulement sera dressée et dépolie toujours de la même manière. Cette plaque sera placée dans le moule pour essais d'adhérence, et on achèvera le remplissage avec du ciment portland pur.

Le reste de l'expérience se fera comme il est dit en *b*.

Boulogne sur-Mer, le 18 novembre 1892.

E. CANDLOT.

SUR

LES MÉTHODES D'ESSAI

DES POUZZOLANES NATURELLES ET DU TRASS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. E. DARDENNE.

Dans sa séance du 3 février, consacrée partiellement aux pouzzolanes et au trass, le Comité d'études de la Section B nous a demandé de définir les essais qui nous paraissent susceptibles d'être appliqués à la réception des pouzzolanes naturelles et particulièrement du trass. Nous avons été invité à examiner notamment dans quelles limites il était possible d'étendre au trass les méthodes d'essai admises pour les ciments.

Le problème ainsi posé est loin de comporter une solution aussi simple qu'on peut le supposer *a priori*.

L'étude des mortiers d'essai est plus délicate et plus difficile qu'elle ne l'est pour les ciments, que l'on expérimente soit à l'état de pâte de ciment, soit à l'état de mortier sableux. Pour le trass, et pour toutes les pouzzolanes en général, on est obligé de faire intervenir dans la composition des mortiers un élément supplémentaire, la chaux, qui joue, au point de vue des essais, un rôle prépondérant. Les mortiers d'essai doivent être constitués par un mélange de chaux et de pouzzolane, avec addition éventuelle de sable ; les résultats obtenus dépendent du *dosage des matières* et de la *qualité même de la chaux*, autant que de la *qualité du trass*.

Les nombreuses expériences faites à Dunkerque, au cours de ces dernières années, ne peuvent nous fournir que des indications incomplètes. Pour nos essais, nous avons exclusivement fait usage de la chaux éminemment hydraulique de Tournay ; nous avons opéré, de préférence, sur les dosages prévus par nos cahiers des charges et employés sur nos chantiers ; enfin, la majeure partie de nos essais comportaient l'emploi de l'eau de mer.

Les chaux hydrauliques sont des produits imparfaitement définis, qui, dès lors, influencent,

dans des conditions variables, les résultats des essais. Elles doivent être écartées, si l'on a seulement à reconnaître la qualité d'une pouzzolane, et que l'on cherche à uniformiser les méthodes d'essai. On doit alors n'employer que des chaux grasses aussi pures que possible, telles que la chaux obtenue par calcination du marbre. La substitution de la chaux grasse aux chaux hydrauliques entraîne à elle seule la modification de la plupart des règles adoptées pour la fabrication et pour l'immersion des éprouvettes.

Les méthodes d'essai en usage en Hollande et en Belgique ne peuvent également nous fournir que des indications sommaires.

Seules, les règles posées par les conférences de Munich et de Berlin peuvent nous être de quelque secours; encore doit-on reconnaître qu'elles n'ont pas toute la précision des méthodes admises pour l'essai des ciments.

Quoi qu'il en soit, étant donné le court délai dont nous disposions pour la présentation de notre note, nous ne pouvions songer à multiplier, autant qu'il eût été nécessaire de le faire, les expériences préliminaires.

Nous ne formulerons donc nos conclusions que sous toutes réserves, en insistant sur ce fait que des expériences méthodiques et suffisamment prolongées permettront seules de vérifier la valeur réelle des méthodes d'essai auxquelles on croira devoir s'arrêter.

DOSAGES ADOPTÉS SUR LES CHANTIERS POUR LES MORTIERS DE CHAUX ET POUZZOLANES.

La détermination des dosages à adopter pour les mortiers d'essai présente un intérêt tout spécial, puisque les propriétés hydrauliques des mortiers en dépendent directement, ainsi que leur résistance à l'action de l'eau de mer.

Avant d'aborder l'examen détaillé des méthodes d'essai, nous croyons donc utile de résumer sommairement les indications que nous avons pu recueillir sur les dosages communément adoptés sur les chantiers, tant en France qu'à l'étranger.

1° TRASS.

Les mortiers employés à *Dunkerque* et à *Calais*, il y a quarante ou cinquante ans, étaient composés de 45 de chaux moyennement hydraulique, 50 à 70 de pouzzolanes (dont 20 de trass, et le reste en pouzzolane artificielle, dite ciment de Calais), et 30 à 50 de sable. A partir du moment où l'on a renoncé à l'emploi de la pouzzolane artificielle, on a adopté des dosages divers, contenant tous 2 de chaux, 1 de trass, avec une quantité variable de sable (celui-ci étant, dans certains cas, remplacé par de la cendre de houille). On n'a, d'ailleurs, conservé les mortiers de chaux et trass que pour le béton des massifs de fondation, le ciment étant exclusivement employé pour l'ensemble des autres maçonneries. Les dosages actuellement admis sont les suivants :

Trass	2,5	3	3,5
Chaux éminemment hydraulique	5	6	7
Sable	6,5	5	3,5

Les dosages les plus riches en trass conviennent de préférence pour les maçonneries exposées plus directement à l'action de l'eau de mer.

En *Belgique*, on prescrit communément les deux dosages suivants, dont le dernier est presque exclusivement employé tant pour les travaux à la mer que pour les massifs de fondation des ouvrages de navigation intérieure.

Trass	2	4
Chaux hydraulique ordinaire	6	6
Sable	4	2 ou 0

En *Hollande*, les dosages généralement adoptés se ramènent aux types suivants :

Steenkalk	Trass	2	—	2	—	2	—
	Chaux	6	—	4	—	3	—
	Sable	4	—	2	—	—	—
Schelpkalk	Trass	—	2	—	2	—	2
	Chaux	—	6	—	4	—	2
	Sable	—	3,5	—	1	—	—

Le dernier dosage a été adopté en particulier pour les maçonneries des bajoyers de la nouvelle écluse d'Ymuiden, au débouché du canal d'Amsterdam à la mer du Nord; on l'emploie, en général, pour tous les travaux à la mer de quelque importance. Pour le béton de fondation de la même écluse, le mortier comportait 7 de trass, 6 de chaux hydraulique en poudre, 5 de sable de rivière et 17 de pierres cassées.

Nous n'avons pas recueilli de renseignements certains sur les dosages adoptés en *Allemagne* pour les travaux à la mer. Pour les travaux de navigation intérieure, la majeure partie des dosages communément admis paraissent se rapporter à un dosage type comprenant 1 volume de chaux hydraulique pour 2 de trass et sable, la proportion relative du trass et du sable variant suivant qu'il s'agit de maçonneries destinées à demeurer constamment sous l'eau, ou de bétonnages. Nous citerons en particulier les trois dosages suivants employés pour les quais du port de Brême et pour les travaux de canalisation du Mein.

Trass	2	3	4
Chaux hydraulique en poudre	3	3	3
Sable	4	3	2

Tous les dosages que nous venons d'énumérer sont volumétriques. Pour les exprimer en poids, il faudrait connaître la densité des chaux, qui varie suivant leur nature et leur hydraulicité ; on peut admettre, pour les chaux grasses ou faiblement hydrauliques, un poids moyen de 500 kilogrammes par mètre cube ; le poids du trass est d'environ 1.000 kilogrammes. Le dosage comportant 3 volumes de trass pour 3 de chaux grasse serait donc sensiblement équivalent à un dosage en poids comportant 2 parties de trass pour 1 partie de chaux [1]. Un mortier de chaux, trass et sable normal, tiercé par parties égales en volume, correspond de même à un dosage en poids comportant 2 de trass, 1 de chaux grasse et 3 de sable. Ces deux dosages en poids sont, comme nous le verrons, ceux que l'on adopte en Allemagne pour les essais du trass.

[1] Notons, en passant, que, lorsqu'il s'agit de mortiers de chaux grasse, on peut regarder comme très comparables le dosage comportant 3 volumes de trass pour 3 volumes de chaux éteinte en poudre, et le dosage comportant 3 volumes de trass pour 2 volumes de chaux en pâte.

2° POUZZOLANES D'ITALIE.

En *Italie*, d'après les renseignements fournis par M. Luiggi à M. le baron Quinette de Rochemont, inspecteur général des Ponts et Chaussées, on emploie trois types de mortiers hydrauliques, savoir :

Pouzzolane de Rome ou de Bacoli	1	2	3
Chaux en pâte	1	1	2
Sable	1	—	—

Pour les mortiers à employer sous l'eau, on emploie de préférence la pouzzolane de Bacoli (densité 950 à 1.000) et le dosage de 2 pour 1 ; au port de Gênes, en particulier, on emploie exclusivement cette pouzzolane, que l'on mélange à des chaux magnésiennes; cependant, on a cru remarquer qu'elle se combine mieux avec les chaux grasses qu'avec les chaux magnésiennes ou moyennement hydrauliques. La pouzzolane de Bacoli donne une prise plus lente que la pouzzolane de Rome; mais, avec le temps, les mortiers acquièrent une résistance plus grande.

Pour les ouvrages où une prise plus prompte est utile et notamment pour les mortiers destinés à des travaux exécutés en dehors de l'eau, l'emploi de la pouzzolane de Rome (densité 1.190) donne de meilleurs résultats. Les mortiers sont, en général, dosés à raison de 1 de pouzzolane pour 1 de chaux en pâte et 1 de sable de mer; quand on emploie des chaux grasses ou très peu hydrauliques, il peut y avoir intérêt à forcer la teneur en pouzzolane; on va même quelquefois jusqu'à un dosage de 3 de pouzzolane pour 1 de chaux; toutefois, pour la maçonnerie de moellons, on s'en tient, généralement, au dosage de 1 volume de pouzzolane de Rome pour 1 de chaux grasse et 1 de sable de mer.

Il n'est pas sans intérêt de signaler que les deux dosages principaux encore en usage en Italie ne sont pas autres que ceux qui étaient employés il y a cinquante ans pour les travaux de Toulon et pour la construction du port d'Alger, et que mentionne un mémoire inséré par Vicat dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (1849, 2° semestre). Dans ce mémoire, Vicat rappelait d'ailleurs que, d'après Vitruve, les mortiers employés par les Romains, pour la construction des môles et les travaux à la mer, étaient également dosés à raison de 2 de pouzzolane pour 1 de chaux.

COMPARAISON DES DIVERS DOSAGES.

Si l'on compare les divers dosages énumérés ci-dessus et que l'on s'en tienne, pour chacune des séries, aux dosages les plus riches en pouzzolanes, mortiers que l'on doit considérer comme particulièrement propres aux travaux à la mer, on se rend compte qu'en fait les divergences sont moins marquées qu'on ne serait tenté de le croire de prime abord.

Seul le mortier riche en usage à Dunkerque est caractérisé par une proportion double de chaux (en volume). Tous les autres, abstraction faite du sable, se rapprochent d'un même dosage type que l'on peut à volonté définir comme suit:

3 volumes de pouzzolane pour 3 de chaux en poudre,
2 parties en poids de pouzzolane pour 1 de chaux en poudre,
3 volumes de pouzzolane pour 2 de chaux en pâte.

DISCUSSION DES MÉTHODES D'ESSAI APPLICABLES À LA RÉCEPTION DES POUZZOLANES.

1° TRASS [1].

Le trass provient d'une région située sur les bords du Rhin; la ville d'Andernach, située à 10 kilomètres en aval de Coblentz, est le centre des exploitations.

[1] En Allemagne, le terme « trass » caractérise le produit amené par broyage à l'état de poudre. La roche est désignée communément sous le nom de pierre de tuf (Tuffstein).

Le trass est extrait des carrières à l'état de roche compacte.

En général, on emploie le trass à l'état de poudre [1]. Pour éviter les falsifications, on préfère souvent le recevoir à l'état de roches, qu'on broie préalablement sur les chantiers. Cette règle a été appliquée à presque toutes les fournitures faites en France; elle est encore suivie d'une manière à peu près générale en Belgique et en Hollande. En Allemagne, au contraire, le trass est généralement reçu sur les chantiers à l'état de poudre; la mouture est faite aux carrières où l'on dispose de moulins convenablement outillés, des agents spéciaux suivent sur place le triage des pierres de bonne qualité ainsi que la mouture. Cette solution présente des avantages sérieux, l'outillage spécial dont disposent les carrières leur permettant de réaliser plus facilement une mouture fine et régulière.

Dans tous les cas, pour les essais, on ne peut opérer que sur le trass en poudre. Si l'échantillon à essayer est à l'état de roche, on doit le broyer et amener le produit à une finesse telle que le résidu du tamisage ne dépasse pas 50 p. 100 au tamis de 4.900 mailles et 25 p. 100 au tamis de 900 mailles; au cours de cette opération on aura soin d'ailleurs de ne rejeter aucun des gros grains qui constituent le résidu du tamisage et l'on prolongera au contraire le broyage jusqu'à ce que la totalité de la matière présente la finesse prescrite. Cette finesse de mouture est atteinte aujourd'hui par la plupart des moulins que possèdent les propriétaires des carrières.

Étant donné que nous avons à rechercher l'unification des méthodes d'essai et non les clauses à insérer dans un cahier des charges, il ne paraît pas utile d'insister sur le tuf (trass en roches) et sur les caractères physiques des pierres de bonne qualité. Nous nous bornerons à signaler qu'il convient de rebuter les pierres trop légères dont les propriétés hydrauliques sont médiocres; il sera donc utile de constater le poids spécifique et de s'assurer qu'il n'est pas inférieur à un minimum déterminé. Ce poids spécifique minimum correspond d'ailleurs à la pierre *parfaitement sèche*, qui non seulement doit être débarrassée de son eau de carrière, mais ne doit pas avoir absorbé d'eau au cours du transport; cette observation est importante, étant donné surtout que les fournitures sont réglées au poids.

Pour la discussion des méthodes d'essai applicables au *trass en poudre*, nous examinerons successivement les diverses questions auxquelles a donné lieu l'étude des ciments à prise lente. Nous tiendrons compte, d'une part, des dispositions prises par le Comité dans ses dix premières séances, et, d'autre part, des décisions complémentaires intervenues au cours des séances ultérieures.

CARACTÈRES PHYSIQUES.

Les méthodes admises pour les ciments s'appliquent également au trass, en ce qui concerne, soit la détermination du *poids spécifique* et de la *densité apparente*, soit le *tamisage* et les essais par le *grossissement*.

Nous rappelons que, pour les essais, on devra opérer sur une poudre dont la finesse soit telle que le résidu du tamisage ne dépasse pas 25 p. 100 au tamis de 900 mailles, et soit compris entre 40 et 50 p. 100 pour le tamis de 4.900.

Il est utile de se rendre compte si le trass ne contient ni matières terreuses, ni parcelles de pierre ponce. Il est facile de procéder comme suit à un *essai de clarification*.

Le trass en poudre, versé dans l'eau et agité vivement, devra se précipiter rapidement, sans que l'eau se trouble d'une manière sensible et sans qu'aucune parcelle de pierre ponce vienne flotter à la surface.

ANALYSE CHIMIQUE.

Comme toutes les pouzzolanes, le trass paraît agir par contact. Il semblerait, *a priori*, que ses propriétés hydrauliques doivent dépendre de la proportion plus ou moins grande de silice et d'alumine faiblement agrégées et de silice libre qu'il renferme. Contrairement à ces prévisions,

[1] Sur quelques chantiers, notamment en Belgique, on se contente d'exiger, pour la fabrication des mortiers, des broyeurs à cuve tournante, qui comportent des meules d'un mètre de diamètre, pesant environ 800 kg. On charge directement dans la cuve la pierre de tuf grossièrement concassée, la chaux et le sable, et l'on fait marcher le broyeur pendant 5 à 6 minutes.

l'analyse chimique ne semble donner que des renseignements très peu certains sur la qualité d'un trass. Les analyses, d'ailleurs peu concordantes, ne paraissent pas accuser une composition très constante.

On ne peut cependant les regarder comme inutiles. Il est intéressant, en toute hypothèse, de rechercher, d'une part, la proportion de silice et d'alumine solubles dans les acides et les alcalis, et, d'autre part, la proportion de matières insolubles.

D'autre part, il paraît démontré que la proportion *d'eau de combinaison* contenue dans le trass est en rapport direct avec ses qualités hydrauliques. Pour faire cet essai, on opérera sur du trass préalablement séché à une température de 100 à 110°.

Nous proposons, en résumé, les conclusions suivantes:

L'analyse chimique complète du trass est recommandée. Tous les éléments trouvés devront être indiqués au procès-verbal. Il y a lieu, du reste, de laisser aux opérateurs la liberté des méthodes à employer pour les analyses.

On déterminera la perte au feu du trass, préalablement séché à une température d'environ 100 à 110°.

ESSAIS DE PRISE.

Pour les *essais de prise*, de même que pour tous les essais de mortiers, la question est, comme nous l'avons dit, plus complexe que pour les ciments, puisqu'on est obligé d'opérer sur un mélange de trass et de chaux.

Différentes questions prennent une importance capitale:

1° Quelle chaux doit-on employer?

2° Quelles doivent être les proportions de chaux et de trass?

3° Doit-on opérer, comme pour les mortiers de ciment pur, sur des pâtes à consistance normale, ou même sur des pâtes contenant un excès d'eau? Doit-on au contraire, comme pour les mortiers sableux, n'ajouter aux matières sèches qu'une quantité d'eau minimum, sauf à avoir recours au damage pour donner au mélange la cohésion et la plasticité nécessaires? Doit-on, comme solution intermédiaire, opérer sur des pâtes fermes, et comment les définir?

4° Comment définira-t-on la prise?

5° Les essais seront-ils faits à l'eau de mer ou à l'eau douce, et les détails des méthodes d'essai seront-ils les mêmes dans les deux cas?

1° Choix de la chaux. — La qualité de la chaux joue forcément un rôle prépondérant dans la prise des mortiers de chaux et de trass. Pour que les essais soient uniformes et comparables, et permettent d'apprécier d'une manière certaine les qualités hydrauliques du trass, il est donc nécessaire d'écarter toutes les chaux hydrauliques, qui constituent des produits insuffisamment définis, et d'employer une chaux grasse aussi pure que possible (chaux obtenue par calcination du marbre). La teneur en eau de cette chaux devra elle-même être aussi constante que possible; la chaux ne sera donc pas employée à l'état de pâte, mais à l'état de chaux éteinte en poudre. La parfaite extinction de la chaux devra être vérifiée au préalable, afin que la prise ne puisse être troublée par des phénomènes indépendants du trass à essayer.

2° Dosage du mortier de chaux et trass. — Les conférences de Munich et de Dresde prévoient l'emploi d'un dosage comportant 2 parties en poids de trass pour 1 de chaux grasse en poudre. Comme nous l'avons vu, en discutant les dosages employés sur les chantiers, ce dosage est presque uniformément admis comme dosage riche, notamment pour les travaux à la mer. Rien ne paraît s'opposer à ce qu'il soit adopté pour les essais.

3° Quelle quantité d'eau doit-on incorporer aux mortiers? — Pour les pâtes de ciment, les conférences de Munich et de Dresde ont adopté la consistance normale. Pour les mortiers de chaux et trass, sans addition de sable, on s'est inspiré au contraire des règles admises pour les mortiers sableux, et l'on a réduit à la limite du possible la teneur en eau.

Pour les essais auxquels nous avons procédé à Dunkerque, au cours de ces dernières années,

nous avions tenu à nous rapprocher de cette dernière manière de faire; estimant toutefois qu'il convenait, pour les essais de prise en particulier, d'opérer sur un mélange susceptible de prendre, à la suite d'un gâchage prolongé, l'aspect d'un mortier, nous avons été conduits à majorer un peu le dosage en eau et à opérer sur des pâtes que nous qualifions « pâtes fermes ».

Il est nécessaire de faire un choix entre ces trois dosages, en écartant d'ailleurs, comme le Comité l'a fait pour la pâte de ciment, la variante qui consisterait à majorer le dosage en eau correspondant à la pâte à consistance normale.

Nous ne voyons pas de raison majeure pour ne pas étendre aux pâtes de chaux et trass la règle admise par le Comité pour les pâtes de ciment. Ces pâtes ont une plasticité suffisante pour rester parfaitement homogènes, sans qu'on doive craindre que les gros grains de trass tendent à gagner le fond de la boîte; l'utilité des pâtes sèches préconisées en Allemagne ne nous paraît donc pas démontrée. La méthode de Boulogne et l'emploi de la truelle, pour la détermination de la consistance normale ne peuvent donner des résultats satisfaisants pour les mortiers de chaux, mais l'emploi de la sonde Tetmajer lève toute difficulté. Par des expériences directes, portant sur diverses espèces de chaux, nous nous sommes en effet rendu compte que la sonde Tetmajer, non seulement paraissait d'un usage facile, mais donnait une précision satisfaisante pour les mortiers de chaux et trass, au même titre que pour les mortiers de ciment.

Si cependant le Comité estimait qu'il y a intérêt à se placer dans des conditions analogues à celles admises en Allemagne, et à réduire la teneur en eau, nous serions d'avis qu'il y a lieu en tous cas de ne pas adopter, malgré la simplicité de sa formule, le dosage allemand : 2 de trass, 2 de chaux grasse en poudre et 1 d'eau. Ce dosage nous paraît en effet trop pauvre en eau; même en prolongeant le gachâge pendant 8 à 10 minutes, nous n'avons pu arriver à lier le mortier d'une manière satisfaisante. Nous proposerions l'adoption de la *pâte ferme* que nous employons à Dunkerque depuis plusieurs années; l'emploi de la sonde Tetmajer permettrait de définir la consistance de cette pâte, l'enfoncement de la sonde étant fixé à 10 millimètres.

Deux types de chaux sur lesquels ont porté la majeure partie de nos essais nous ont d'ailleurs donné en moyenne les résultats suivants:

	TRASS.	CHAUX.	EAU.	
			1er CAS.	2e CAS.
Pâte à consistance normale	665	335	400	450
Pâte ferme (l'épaisseur de la couche restant entre le fond du moule et l'extrémité de la sonde étant de 30 millimètres).	665	335	355	390
Pâte sèche (dosage admis par la Conférence de Dresde)	665	335	335	335

4° *Définition de la prise.* — Pour les pâtes de ciment, le Comité a admis que l'on constaterait, à l'aide de l'aiguille Vicat, le commencement et la fin de la prise. Les détails de l'essai ont fait l'objet d'un rapport du Sous-Comité, rapport dont les conclusions ont été adoptées intégralement par le Comité.

Nous ne voyons pas de difficulté à ce que ces conclusions soient étendues aux mortiers de chaux et trass, en ce qui concerne le *début de la prise.* La *fin de la prise* est déjà difficile à constater pour les ciments, et le Comité a reconnu lui-même que la définition admise laissait à désirer et ne devait être maintenue qu'à titre provisoire. Pour les chaux et trass, comme pour les chaux en général, la difficulté d'appréciation est bien plus grande encore, étant donnée la couche de laitance ou de carbonate dont se couvre la pâte suivant qu'elle est immergée ou abandonnée à l'air libre. En outre, nous n'estimons pas que la double constatation du début et de la fin de la prise soit suffisante, pour des mortiers dont la prise exige plusieurs jours. Il nous paraît utile, si l'on veut avoir des indications un peu précises sur les propriétés hydrauliques du trass, de constater, à l'instar de ce qui se fait en Allemagne, les surcharges à faire supporter par l'aiguille, au bout de 2, 3, 4 et 5 jours pour un enfoncement de 5 millimètres.

La Conférence de Dresde avait sanctionné cette règle; la Conférence de Berlin s'est bornée à insister sur l'intérêt majeur que présente la constatation du début de la prise.

Nous ne disposions pas, à Dunkerque, de chaux grasse parfaitement pure, sur laquelle il nous fût possible de constater la *durée de la prise* pour le mortier normal dont nous proposons

l'adoption. Du moins, avons-nous cherché à nous rendre compte, en opérant sur un échantillon de chaux moyennement hydraulique, de la surcharge qui donne un enfoncement de 5 millimètres au moment où la prise peut être considérée comme finie. Nous avons trouvé des chiffres très variables qui mettent en évidence l'incertitude que laisse la définition même de cette fin de prise, et qui étaient presque tous supérieurs à 1 kg.

Aux termes de la majeure partie des cahiers des charges allemands, l'enfoncement de 5 millimètres, pour une aiguille de 1 millimètre de diamètre, correspond à des surcharges de 230, 430, 630, 830 grammes après 2, 3, 4 et 5 jours; c'est-à-dire que la fin de la prise n'intervient qu'après 4 à 5 jours au minimum, pour des mortiers composés, comme nous l'avons prévu, de 2 de trass pour 1 de chaux grasse en poudre.

5° *Essais à l'eau de mer et à l'eau douce.* — Il sera utile, en général, de constater la prise des mortiers à l'eau de mer, en même temps qu'à l'eau douce et à l'air.

En résumé, en ce qui concerne les essais de prise, les décisions prises par le Comité pour les pâtes de ciment nous paraissent susceptibles d'être étendues aux mortiers de chaux et trass sous les réserves suivantes :

On opérera sur un mélange composé de 667 grammes de trass et de 333 de chaux grasse en poudre, aussi pure que possible, avec addition de la quantité d'eau nécessaire pour amener la pâte à l'état de consistance normale.

On déterminera le début de la prise comme pour les ciments. En outre, en raison de l'indécision du moment où a lieu la fin de prise, on déterminera les surcharges qu'on aura à placer sur l'aiguille normale pour obtenir un enfoncement de 5 millimètres au bout de 2, 3, 4 et 5 jours.

S'il y a lieu, les essais seront faits concurremment à l'eau de mer et à l'eau douce, sans préjudice des essais de prise dans l'air, dans le cas où ces derniers seraient jugés utiles.

ESSAIS DES PÂTES DE CHAUX ET TRASS.

Rendement des pâtes. — Rien ne s'oppose à ce que l'on adopte les décisions prises pour les ciments, pour la constatation du rendement des pâtes correspondant à un mélange de chaux et trass. On opérera sur le dosage normal 2 : 1 déjà défini plus haut. Nous ferons seulement remarquer qu'il s'agit d'un véritable mortier, assimilable aux mortiers sableux; les règles peuvent donc être les mêmes, qu'on ajoute ou non une certaine quantité de sable au trass et à la chaux.

Invariabilité de volume. — Nous proposons d'étendre aux pâtes de chaux et trass, dosées dans le rapport de 2 en poids de trass pour 1 en poids de chaux, les décisions prises par le Comité en ce qui concerne les chaux hydrauliques.

Il a été admis pour ces chaux que les essais seraient identiques à ceux applicables aux ciments à prise lente, sauf en ce qui concerne les essais à l'eau chaude, pour lesquels on ne dépasserait pas la température de 50°.

Nous insisterons seulement sur ce point que, pour ces essais d'invariabilité de volume, la qualité de la chaux et surtout son imparfaite extinction tendront à motiver, bien plutôt que la qualité même du trass, les altérations qui pourront être constatées.

Cette observation s'applique particulièrement quand on opérera à l'eau de mer.

Essais de résistance à la traction. — La pâte dosée à raison de 2 en poids de trass pour 1 de chaux constitue un véritable mortier. Si tant est qu'on juge utile de soumettre ce dosage à des essais de résistance, et si l'on ne se contente pas d'opérer, comme en Allemagne, sur un mortier de trass, chaux et sable, il n'y a pas lieu du moins de différencier les règles applicables aux essais portant sur les mortiers.

L'addition d'une proportion de sable, même assez forte, à un mélange donné de chaux et de trass est loin, du reste, de se traduire, comme pour les ciments, par une réduction plus ou moins parallèle de la résistance. Les résultats sont de plus tout à faits différents, suivant la nature des chaux mélangées au trass.

Nous examinerons cette question avec un peu plus de détails lorsque nous parlerons des mortiers sableux. Nous nous bornons, pour le moment, à donner, à l'appui de notre dire, les

résultats suivants, que nous extrayons d'une brochure de M. Herfeldt, ou de nos notes personnelles :

Dosage des mortiers en volume.	Trass.....	1	1	1	1	4	4	4	4	4	Dans ce tableau, les quatre premiers essais correspondent à de la chaux grasse en pâte, et les cinq derniers à une chaux éminemment hydraulique.
	Chaux.....	1	1	1	1	2	2	2,5	2,5	4	
	Sable.....	1	2	3	4	0	2	2	4	4	
Résistance moyenne à la traction, après 6 semaines....		14kg.8	15 kg.	3kg.5	12kg.2	—	—	—	—	—	
Résistance moyenne à la compression, après 6 semaines.		94kg9	95kg.	111kg.8	98kg8	—	—	—	—	—	
Résistance à la traction à 28 jours.....		—	—	—	—	14kg.	13kg.	14kg.2	13kg.6	14kg.4	

Ce que nous venons de dire pour les *essais de résistance à la traction* s'applique aux *essais de rupture par compression* et aux *essais de rupture par flexion*, ainsi qu'aux *essais d'adhérence*.

ESSAIS SUR LES MORTIERS.

En ce qui concerne la *température* et la *composition du sable normal*, on peut appliquer aux essais de trass les règles prévues pour les ciments.

De même en ce qui concerne la *nature de l'eau*. Nous insisterons seulement sur l'utilité que présentent, non seulement les essais à l'eau de mer en général, mais encore leur comparaison avec les résultats des essais à l'eau douce. En France, les pouzzolanes naturelles et, notamment le trass, ont été presque exclusivement employées à la mer; les essais à l'eau de mer prennent, dans ces conditions, une importance prépondérante. A Dunkerque, tous nos essais de ciment et la plupart des essais de trass et de chaux sont faits à l'eau de mer; au cours des dernières années, nous avons fait un certain nombre d'essais parallèles à l'eau de mer et à l'eau douce. Nous opérions toujours sur des chaux hydrauliques.

La question de l'eau de mer ayant été agitée à propos des essais des chaux, il n'est peut-être pas inutile de résumer les conclusions que nous avons pu déduire de ces quelques essais.

L'eau de mer augmente la résistance des mortiers, cette augmentation atteint en moyenne 30 à 40 p. 100 et souvent davantage. En revanche, la prolongation de ces essais de résistance à un an, deux ans, et plus, semble mettre en évidence une marche toujours ascendante des résistances obtenues à l'eau douce, alors que, pour certains mortiers tout au moins, les résistances constatées avec l'emploi de l'eau de mer décroissent au bout de deux ans, quelquefois même à un an. Nous ne sommes, il est vrai, pas en mesure de dire dans quelles limites ces décroissances de résistance sont attribuables à la qualité de la chaux ou à celle du trass, ni même d'affirmer, bien qu'il y ait lieu de le craindre, que ces décroissances de résistance se traduiront finalement par une décomposition complète des mortiers. Nous signalerons enfin que, dans la plupart des cas, les chutes de résistance paraissent plus sensibles pour les mortiers avec sable normal que pour ceux avec sable des dunes. Pour les ciments, au contraire, les chutes de résistance des mortiers sableux à quatre ou cinq ans sont si rares pour le sable normal, d'après nos constatations du moins, qu'elles peuvent jusqu'à nouvel ordre être considérées comme des anomalies; avec le sable des dunes, au contraire, ces chutes de résistance sont très fréquentes; nous tendons même à croire qu'elles atteindront tous les ciments, au bout d'un certain temps plus ou moins long.

Dosage des mortiers pour les résistances à la traction. — Les Conférences de Dresde et de Berlin ont admis, pour les essais de résistance à la traction, un mortier dosé comme suit :

2 parties en poids de trass,
1 partie de chaux grasse en poudre, aussi pure que possible,
3 parties de sable normal,
1 partie d'eau.

Étant données les densités apparentes des matières, ce dosage correspond sensiblement au dosage volumétrique 2 : 2 : 2 : 1 ; nous avons vu que ce dosage, où les matières sèches sont tiercées par parties égales, peut être regardé comme le mortier type des mortiers sableux communément employés pour les travaux hydrauliques. Il présente d'ailleurs cet avantage que les proportions de trass et de chaux sont celles déjà admises pour les mortiers de chaux et trass.

Nous en proposons donc l'adoption, en demandant que les essais portent concurremment sur ce mortier sableux et sur le mortier normal de chaux et trass, dont le dosage sera :

2 parties en poids de trass,
1 partie de chaux grasse en poudre,
1 partie d'eau.

Il vaudrait mieux toutefois adopter pour le dosage de l'eau celui qui doit amener le mortier à la consistance *ferme*, cette consistance étant définie par un enfoncement de 10 mm. de la sonde Tetmajer.

Ainsi que nous l'avons déjà expliqué, si l'on part d'un dosage donné de chaux et trass, on peut y ajouter une proportion de sable notable sans que les essais de résistance accusent des différences très sensibles. (On peut constater, du reste, le même fait pour les mortiers de ciment et sable, tant que le poids du sable reste inférieur à celui du ciment.) Un mortier, dans lequel on force le dosage en chaux en diminuant la proportion de sable, donnera des résultats moins bons qu'un mortier contenant une forte proportion de sable, si l'on a soin de régler judicieusement la teneur en chaux. La valeur relative de mortiers à divers dosages, en tant tout au moins qu'on classe les mortiers d'après les résultats des essais de résistance, varie, du reste, avec la nature de la chaux employée. La proportion d'eau est également un élément dont il faut tenir compte.

Pour vérifier ce fait, il suffit de comparer les chiffres qui figurent dans les tableaux ci-dessous, et qui complètent ceux que nous avons déjà donnés à propos des essais applicables aux mortiers de chaux et trass. Ces résultats sont également empruntés, les uns à des publications spéciales relatives au trass, les autres à des essais que nous avons eu l'occasion de faire à Dunkerque. Pour tous ces essais, les dosages étaient volumétriques.

Trass	2	2	2	2	2	2	2	2
Chaux grasse en poudre	1	1,5	2	1,5	2	2	2,5	2,5
Sable	2	2	2	4	4	6	6	8
Résistance moyenne après 6 semaines, à la traction	18,8	16,7	14,8	15,3	15,0	13,5	11,5	13,4
Résistance moyenne après 6 semaines, à la compression	119,7	113,2	94,5	116,2	95,5	111,8	93,8	97,3
Trass	4	—	—	—	—	4	3,5	4
Chaux moyennement hydraulique en poudre	3	—	—	—	—	3	4	4
Sable	2	—	—	—	—	4	4	4
Résistance moyenne à la traction, à 28 jours	10,3	—	—	—	—	11,8	12,1	10,0
Trass	4	4	4	4	4	4	4	4
Chaux hydraulique	2	2	2,5	3	2,5	3	3,5	4
Sable	0	2	4	2	4	4	4	4
Résistance moyenne à la traction, à 28 jours	14,0	13,0	14,2	13,6	13,2	13,2	13,5	14,4

Trass	3	3	6	Nous donnons ci-contre les moyennes des résultats pour deux séries de chaux éminemment hydraulique, de deux marques distinctes A et B. (Tous les essais étant faits à l'eau de mer.)
Chaux éminemment hydraulique	6	3	3	
Sable normal	5	3	6	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux A.) à 28 jours	15,1	17,4	17,6	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux A.) à 90 jours	24,0	25,1	24,4	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux A.) à 6 mois	24,1	29,7	27,6	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux A.) à 1 an	24,8	26,8	29,8	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux B.) à 28 jours	14,3	17,4	15,0	Le dernier essai correspond sensiblement, étant donnée la densité apparente des chaux et du sable normal, au dosage type en poids 2 : 1 : 3.
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux B.) à 90 jours	28,3	27,5	29,9	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux B.) à 6 mois	33,6	29,6	27,0	
Résistance moyenne à l'extension, (Chaux B.) à 1 an	34,8	32,6	31,6	

Étant donnés les dosages types que nous proposons d'adopter, les procédés admis par le Comité, ou préconisés par le Sous-Comité (Rapport de M. Feret), en matière de ciment, tant pour la fabrication et la conservation des briquettes que pour les essais, sont applicables aux mortiers de chaux et trass.

Les seules différences portent sur le dosage des matières sèches et sur le dosage en eau.

Suivant qu'il s'agira de mortiers de chaux et trass ou de mortiers sableux, on emploiera pour chaque gâchage les dosages suivants :

a. — *667 grammes de trass et 333 grammes de chaux grasse en poudre aussi pure que possible, qu'on mélangera intimement à sec et auxquels on ajoutera la quantité d'eau nécessaire pour obtenir, après gâchage, une pâte à consistante ferme ; la consistance de cette pâte sera définie à l'aide de la sonde de consistance, l'épaisseur de la couche qui reste entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule étant fixée à 30 millimètres ;*

b. — *333 grammes de trass, 167 grammes de chaux grasse et 500 grammes de sable normal moyen, avec addition de la moitié du poids d'eau nécessaire pour amener à l'état de pâte ferme définie comme ci-dessus un mélange de 667 grammes de trass et 333 grammes de chaux.*

Dans le premier cas, les briquettes seront faites à la truelle, comme les briquettes de ciment pur.

Dans le second cas, on pourra suivre les règles applicables aux mortiers de ciment et sable.

Les conclusions du rapport de M. Feret relatif aux mortiers sableux peuvent être maintenues pour les mortiers de chaux et strass, à l'exception des six derniers paragraphes.

Comme pour les essais de prise, les essais de résistance à la traction seront faits concurremment à l'eau de mer et à l'eau douce.

Nous sommes maintenant à même d'examiner la question des *essais à la compression*. Les conclusions du rapport de M. Siméon peuvent être intégralement appliquées aux mortiers de chaux et trass.

En ce qui concerne les *essais de rupture par flexion*, rien ne paraît devoir s'opposer à ce que l'on étende aux mortiers de chaux et trass les décisions qui seront prises pour les ciments. On se préoccupe d'ailleurs de cette question en Allemagne. Nous comptons recevoir incessamment les résultats d'expériences faites à Aix-la-Chapelle par M. Intze, qui essaye des baguettes de 50×30 et de 1 m. 10 de longueur posées sur des couteaux espacés de 1 mètre; les dosages employés par M. Intze sont les dosages volumétriques suivants :

1,5 volume de trass et 1 de chaux grasse pour 1 de sable du Rhin;

2 volumes de ciment et 1 de chaux pour 8 de sable.

A priori, on peut admettre que les conclusions définitives du rapport de M. Candlot sur les *essais d'adhérence* des mortiers de ciment pourront être étendues aux mortiers de chaux et trass (dosages-types des essais à la traction).

Les questions relatives à *la prise des mortiers* doivent être ajournées jusqu'à nouvel ordre, comme elles le sont pour les ciments.

La *perméabilité* des mortiers de chaux et trass peut être étudiée conformément au programme applicable aux essais de ciment.

Ainsi que nous l'avons rappelé à plusieurs reprises, au cours de cette note, *les essais à l'eau de mer* présentent, pour le trass, une importance toute spéciale. Comme pour les ciments, il y a donc utilité à définir les expériences à faire relativement à *l'action de l'eau de mer sur les mortiers*.

Ces expériences auront notamment pour intérêt de définir en même temps les chaux grasses ou hydrauliques qu'il convient d'employer avec le trass pour les travaux à la mer.

2° POUZZOLANES D'ITALIE.

Les pouzzolanes d'Italie ont deux provenances principales, et n'ont pas tout à fait, dans les deux cas, les mêmes propriétés hydrauliques.

La pouzzolane de Bacoli (près de Naples) convient de préférence pour les travaux à la mer

ainsi que nous l'avons dit à propos des différents dosages admis sur les chantiers pour l'emploi des pouzzolanes.

La pouzzolane de Rome donne une prise plus rapide. Elle est plus généralement employée parce que la qualité en est plus régulière et qu'il est plus facile de distinguer les produits de mauvaise qualité. Les meilleures carrières sont celles de Saint-Paul (Tre Fontane et Valchetta).

La bonne pouzzolane de Bacoli doit être extraite à 4 mètres au moins de profondeur ; sa couleur doit être jaune verdâtre, le poids du mètre cube atteint 1.000 kilogrammes.

La meilleure pouzzolane de Rome est rouge foncé, le poids du mètre cube atteint 1.190 kilogrammes.

Pour les travaux, on demande en général que les pouzzolanes soient passées au tamis de 2 millimètres. On recommande, pour la fabrication des mortiers, l'emploi de broyeurs à meules et à cuve tournante, qui réduisent en poussière les gros grains.

Nous avons indiqué, au début de cette note, les dosages admis en Italie pour les mortiers. Pour les bétons à couler dans l'eau que l'on doit pouvoir pilonner, et qui doivent être susceptibles de supporter un certain délavage, on mélange 2 volumes de mortier et 3 de pierres cassées (de 5 centimètres de côté); avec des pierres cassées de plus faibles dimensions, on peut adopter le dosage 3 pour 5. Pour les bétons à exécuter à l'air libre, pour l'exécution des blocs en particulier, le dosage est de 1 pour 2.

En Italie, les pouzzolanes n'ont été soumises jusqu'ici à aucun essai méthodique. On se contente de vérifier la provenance et les caractères physiques.

Rien ne paraît s'opposer en principe à ce que l'on étende aux pouzzolanes d'Italie les règles que nous proposons pour le trass.

Il sera toujours utile de faire *l'essai de clarification* que mentionnent les notes adressées par M. Luiggi.

De même que pour le trass, la nature et la qualité des chaux à mélanger aux pouzzolanes présentent un intérêt capital pour les mortiers qui doivent être employés à la mer.

Dunkerque, le 22 février 1893.

E. DARDENNE.

SUR

LE TAMIS LE PLUS FIN

À ADOPTER POUR LES CHAUX.

RAPPORT

PRÉSENTÉ PAR M. DURAND-CLAYE.

Dans sa seizième séance, tenue le 6 janvier 1893, le Comité d'études a décidé que le tamisage des chaux se ferait à l'aide de trois tamis dont le plus fin aurait 2.500 mailles au centimètre carré, au lieu des 4.900 mailles adoptées pour les ciments.

Il m'a chargé de soumettre au Sous-Comité[1] des propositions pour la définition de ce tamis.

Il résulte des renseignements que j'ai recueillis, que le tamis de 2.500 mailles, répondant exactement au numéro 135, n'est pas de fabrication courante. L'usage est de faire varier les numéros de 10 en 10 seulement à partir de 100.

On n'a pu me signaler qu'un seul fabricant faisant le numéro 135, et l'examen de l'échantillon qu'il a fourni a donné les résultats qui sont consignés dans le tableau inséré à la troisième page de mon rapport du 5 mai 1892 (page 7).

Ces résultats sont les suivants :

Nombre de fils par centimètre linéaire : par définition	50
——— : trouvé dans un sens	50
——— : trouvé dans l'autre sens	51,7
Nombre de mailles par centimètre carré : par définition	2.500
——— : trouvé	2.585
Grosseur des fils : dans un sens	0mm.10
——— : dans l'autre sens	0mm.11
Largeur des jours : dans un sens	0mm.083
——— : dans l'autre sens	0mm.10

Si l'on adoptait pour définir ce tamis, afin de se rapprocher des usages industriels, 50 fils

[1] Le Sous-Comité est ainsi composé : MM. Durand-Claye, *président;* Alexandre, Candlot, Debray, Feret, Le Chatelier (Henri), Ribaucour, Siméon, Viallet.

de 0 mm. 10, le côté des jours serait de 0 mm. 10 lui-même. Comme nous le faisions remarquer à la quatrième page de notre rapport précité, ce côté différerait peu de celui du tamis de 4.900 mailles qui a été fixé à 0 mm. 09. J'avais donc émis des doutes sur l'utilité qu'il y aurait à prendre un type spécial pour les chaux, mais je n'avais pas discuté la question, n'étant alors chargé que de l'étude des tamis pour ciment.

Si l'on tenait à conserver le type de 2.500 mailles, on serait conduit à demander des tamis spéciaux, en dehors de la fabrication courante, ayant, par exemple, des fils de 0 mm. 07. On obtiendrait alors des jours dont le côté aurait 0 mm. 12, et seraient intermédiaires entre ceux du tamis de 900 mailles et ceux du tamis de 4.900 mailles. C'est le type recommandé par les conférences allemandes. Mais il faut se garder d'adopter des règles qui conduiraient à sortir des habitudes. Le placement des tamis pour chaux ne serait pas assez important pour que les fabricants de tamis consentissent à se charger d'en faire de spéciaux, à moins d'en demander un prix exorbitant.

La solution me paraît être dans l'adoption d'un type du commerce qui donne à peu près 0 mm. 12 de côté pour les jours. Les numéros 110 et 120 m'ont paru devoir satisfaire à cette condition. Je me suis procuré un certain nombre d'échantillons de ces numéros, et j'ai prié M. Klein de les soumettre à un examen détaillé, semblable à celui qui a été fait des tamis pour ciment.

Cet examen a fourni les résultats suivants :

NUMÉRO commercial des tamis.	DÉSIGNATION des ÉCHANTILLONS.	NOMBRE DE FILS PAR CENTIMÈTRE LINÉAIRE			NOMBRE DE MAILLES par centimètre carré		GROSSEUR DES FILS		LARGEUR DES JOURS	
		par définition.	compté dans un sens.	compté dans l'autre sens.	par définition.	trouvé.	dans un sens.	dans l'autre sens.	dans un sens.	dans l'autre sens.
							mm.	mm.	mm.	mm.
110.	A.....	40,74	41,2	40,4	1.660	1.664	0,10	0,11	0,143	0,137
	B.....		40,5	39,3		1.593	0,10	0,11	0,147	0,144
	C.....		39,0	36,5		1.424	0,12	0,12	0,137	0,154
120.	A.....	44,44	44,5	44,6	1.975	1.985	0,10	0,10	0,125	0,125
	B.....		44,3	44,3		1.962	0,09	0,09	0,136	0,136
	C.....		42,5	40,5		1.721	0,10	0,10	0,135	0,148

On voit reparaître ici les discordances qui ont été signalées dans mon premier rapport. Toutefois, sauf pour les échantillons de la marque C, le nombre des fils se rapproche assez de celui qui résulte de la définition des numéros, par lesquels on indique combien il doit y avoir de fils au pouce linéaire de 0 m. 027.

Quant à la grosseur des fils, elle varie de 0 mm. 10 à 0 mm. 12 pour le numéro 110 et de 0 mm. 09 à 0 mm. 10 pour le numéro 120.

On ne s'écartera donc pas beaucoup des usages du commerce en adoptant 0 mm. 11 pour le premier type et 0 mm. 10 pour le second.

Le nombre des fils, qui est, par définition, de 40,74 et de 44,44, devra être arrondi pour suivre la marche adoptée dans le cas des tamis destinés aux épreuves du ciment. On pourra prendre 40 pour le tamis numéro 110, et 45 pour le tamis numéro 120. Le premier de ces nombres fournirait 1.600 mailles au centimètre carré, et le second 2.025, soit 2.000 en nombre rond.

Pour les grosseurs de fils spécifiées ci-dessus, les jours seraient les suivants :

Tamis de 1.600 mailles : 0 mm. 140.

Tamis de 2.000 mailles : 0 mm. 122.

C'est cette dernière dimension qui paraît la plus convenable.

En conséquence, j'ai l'honneur de proposer au Comité de décider que les chaux seront tamisées aux trois tamis suivants :

a. Tamis de 324 mailles, défini dans la séance du 1er juillet 1892.

b. Tamis de 900 mailles, défini dans la séance du 1er juillet 1892.

c. Tamis de 2.000 mailles, ayant 45 mailles au centimètre linéaire, construit avec des fils de 0 mm. 10 de diamètre.

Paris, le 2 février 1893.

DURAND-CLAYE.

SUR

LES ESSAIS DES PLÂTRES.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. DEBRAY, AU NOM DE M. MOREL.

Le sulfate de chaux hydraté à deux équivalents d'eau, dont la formule chimique est $CaO, 2HO, SO^3$, et qui sert à la fabrication des plâtres pour les constructions et les arts, est généralement blanc, de cristallisation confuse, légèrement soluble dans l'eau, insoluble dans l'alcool; son meilleur dissolvant est l'hyposulfite de soude.

Il se trouve en abondance dans la nature, le plus souvent en masses considérables qui permettent son exploitation industrielle; les géologues le dénomment *gypse* et les carriers *pierre à plâtre*.

On le rencontre en grande quantité dans les terrains tertiaires. Il y forme des couches stratifiées, quelquefois séparées par des bancs de marnes calcaires et constitue ainsi des *masses* superposées, qui atteignent parfois de grandes épaisseurs.

En France, il est exploité principalement dans les départements de la Seine, de Seine-et-Oise, de Seine-et-Marne, du Jura, de Saône-et-Loire, de la Côte-d'Or, de l'Ain, de l'Isère, de Vaucluse, des Alpes-Maritimes, des Bouches-du-Rhône, de l'Hérault, de l'Aude, de l'Ariège, du Gers, de la Charente, de la Dordogne, etc.

Le plâtre le plus renommé est celui qui est fabriqué dans les trois premiers de ces départements. Leurs nombreuses usines utilisent les deux premières masses, rarement la troisième.

Il est à remarquer que les divers bancs de ces masses n'ont pas la même dureté.

Les bancs supérieurs de la première masse, dite *haute masse*, sont tendres, tandis que ses bancs inférieurs sont durs.

De même dans la deuxième masse, dite *basse masse*, les bancs les plus compacts et les plus durs sont à la partie inférieure de cette couche. Dans la deuxième masse, les cristaux sont plus accentués.

C'est de la *basse masse* que l'on extrait les bancs de pierre à plâtre qui conviennent plus particulièrement pour la fabrication des plâtres à moulage.

Pour produire du plâtre de bonne qualité et d'emploi facile, il convient de faire un mélange

raisonné des divers bancs de la haute et de la basse masse. La pierre ainsi mélangée est conduite aux fours où a lieu la cuisson.

Pour régler cette opération, on se base sur les remarques suivantes :

Chauffé à la température d'environ 120 degrés, le sulfate de chaux hydraté perd un équivalent et demi d'eau; en cet état, il peut reprendre rapidement son eau de cristallisation, en dégageant de la chaleur.

Si la température de déshydratation a été portée entre 160 et 180 degrés, le plâtre est devenu complètement anhydre. Il peut encore reprendre son eau de cristallisation, mais plus rapidement.

Enfin, s'il a été chauffé à une température voisine du rouge cerise, il ne peut plus s'hydrater.

Que l'on emploie, pour la cuisson du plâtre, le bois, le coke ou le charbon de terre, le but essentiel à rechercher est donc que la température soit élevée le moins possible, parce qu'en effet la pierre à plâtre, portée à une trop haute température, devient un corps inerte.

Si au contraire la pierre à plâtre n'est pas suffisamment chauffée, elle ne se déshydrate qu'imparfaitement.

Les fours généralement employés dans la grande industrie ne donnent qu'un produit imparfait, dont on se contente pourtant. Un tiers environ de la pierre à plâtre, celui qui se trouve en contact direct avec le combustible, est trop fortement chauffé ; le deuxième tiers est convenablement cuit ; enfin le troisième tiers, plus spécialement les menus morceaux placés à la partie supérieure du four dit *culée*, est plus au moins incomplètement cuit.

Quoi qu'il en soit, cet ensemble mélangé au broyage donne une satisfaction relative pour les plâtres employés dans les constructions.

Du degré de la cuisson dépend entièrement la plus ou moins grande rapidité de prise du mortier que l'on peut constituer avec le plâtre et l'eau : plus la température de cuisson a été élevée, plus cette prise est rapide.

Le mortier, en durcissant, prend un volume plus grand que celui qu'il avait à l'état liquide; le gonflement maximum est d'environ 1 p. 100 et revient bientôt à zéro. Puis, peu à peu l'eau s'évapore et il se produit un retrait dont il convient de se préoccuper dans les constructions.

Suivant les usages auxquels on le destine, le plâtre doit être broyé plus ou moins fin.

S'agit-il de son emploi pour mortiers ou enduits grossiers (et c'est en général le cas dans le bassin de Paris), on le broie, puis on le tamise à travers des toiles métalliques n° 5 (5 fils métalliques en long et autant en travers pour une superficie d'un pouce carré). Ces toiles métalliques ont une inclinaison de 45 degrés, de sorte que ce tamisage est le même que celui qui serait obtenu par une toile métallique n° 7 actionnée horizontalement.

Veut-on obtenir le plâtre dit *pour enduits et plafonds*, on tamise le plâtre, dont les morceaux ont déjà subi un triage préalable dans le four, au moyen d'une toile métallique n° 30 inclinée à 45 degrés, ce qui donne le même résultat qu'une toile n° 35 placée horizontalement. Dans cette opération, on laisse de côté les incuits, les cendres et les parties trop cuites. Les incuits sont repassés au four; quant aux cendres et aux trop cuits, ils sont mélangés, dans le broyage, au gros plâtre pour mortiers.

Enfin, s'il s'agit de plâtre expédié en province pour la confection des plafonds et enduits par des ouvriers spéciaux dits *plâtriers plafonneurs*, on ne choisit dans le four que des morceaux bien cuits et d'une certaine grosseur, ne contenant pas de noyaux incuits; on tamise avec une toile n° 35 inclinée à 45 degrés, qui donne le même produit qu'une toile n° 40 placée horizontalement.

Ce dernier plâtre est généralement employé en province par les ouvriers plâtriers, pour plafonds, enduits, corniches, moulures, et il est gâché à l'italienne, c'est-à-dire avec excès d'eau. Il est susceptible de donner des enduits très blancs et qui sont facilement lissés à la truelle d'acier. Sa blancheur devient telle que les plafonds ainsi obtenus n'ont aucun besoin d'être peints ou encollés au blanc, comme c'est l'usage à Paris et dans la grande banlieue.

Qu'il s'agisse de plâtre ordinaire, de plâtre à plafonds ou de plâtre à moulage, la qualité du produit se reconnaît à la durée de la prise. Le prix est même proportionnel à cette durée en ce qui concerne les plâtres à moulage.

D'une manière générale, la prise du plâtre est d'autant plus rapide que la température de cuisson a été plus élevée.

Il faut qu'aussitôt après la prise le plâtre devienne dur et sonore; c'est encore une preuve de sa bonne fabrication.

Le plâtre employé ordinairement à Paris est presque toujours de qualité inférieure, parce qu'il renferme non seulement des incuits, mais encore des matières inertes qui proviennent d'un excès de température, enfin surtout à cause des cendres de cuisson qui favorisent la naissance du salpêtre dans les murs exposés à l'humidité.

Ce plâtre est tamisé dans les chantiers de construction au moyen d'un petit tamis dénommé *sas;* la partie la plus fine est utilisée pour les plafonds et enduits, le résidu ou *mouchette* sert à dégrossir ces enduits.

On peut aisément reconnaître les parcelles de plâtre incuit; il suffit d'humecter légèrement le plâtre ou la mouchette, les incuits apparaissent en jaune paille, couleur de la pierre à plâtre, tandis que les poussières cuites prennent un aspect blanc laiteux.

Montreuil-sous-Bois, le 10 février 1893.

MOREL.

SUR

LES ESSAIS DES SABLES

DESTINÉS À LA FABRICATION DES MORTIERS.

NOTE

PRÉSENTÉE PAR M. R. FERET.

L'intérêt que présente le choix des sables destinés à la fabrication des mortiers est beaucoup plus grand qu'on ne croit généralement.

Jusqu'à présent, on s'est surtout préoccupé, sur les chantiers, de la pureté des sables employés, un peu aussi de leur grosseur, sans pourtant être toujours bien fixé sur son influence, jamais, croyons-nous, des proportions des différentes grosseurs de grains dont ils sont composés.

Dans un mémoire paru récemment[1] et auquel nous nous contenterons de renvoyer le lecteur pour la justification de la plupart des propositions qui vont être exposées, nous nous sommes efforcé de montrer l'énorme influence qu'exercent sur les propriétés des mortiers les différentes qualités du sable employé à leur fabrication, et notamment ce que nous avons appelé sa composition granulométrique, c'est-à-dire la répartition par grosseurs des grains qui le constituent.

La présente note a pour but, non de montrer de nouveau l'importance du choix d'un sable, mais d'indiquer, aussi sommairement que possible, les essais qui nous paraissent les plus propres à mettre en évidence les qualités d'un sable donné, au point de vue spécial de la fabrication des mortiers.

1° Nature du sable.

On ne possède actuellement que très peu de données sur le rôle joué dans les mortiers par les différentes espèces minéralogiques. Tout au plus, pour certains mortiers à sable granitique,

---

[1] *Sur la compacité des mortiers hydrauliques.* (*Annales des Ponts et Chaussées*, cahier de juillet 1892.)

a-t-on cru, dans quelques cas spéciaux, pouvoir attribuer à la décomposition du sable en ses éléments la mauvaise tenue des ouvrages.

Dans un autre ordre d'idées, on évite avec raison l'emploi de sables vaseux, dont les grains sont recouverts d'une pellicule argileuse qui doit nuire à l'adhérence.

Le peu d'expériences de laboratoire faites en vue de rechercher l'influence de la nature du sable n'a permis jusqu'à présent de poser aucune conclusion bien nette. Il semble seulement résulter des essais de M. l'ingénieur en chef Alexandre [1], aussi bien que des nôtres [2], que, toutes les autres conditions étant les mêmes, les sables calcaires donnent des mortiers plus résistants que les autres.

Encore est-il nécessaire que la dureté des grains du sable ne soit pas inférieure à celle du ciment. A ce point de vue, il y a peut-être lieu de se défier des sables contenant des proportions un peu fortes de petits coquillages en forme de limaçon, qui restent pleins d'air dans le mortier et n'offrent par eux-mêmes qu'une faible résistance.

Par contre, nous croyons que le discrédit dans lequel on tient généralement les débris de coquilles plates n'est pas justifié, et que même ces grains, tant qu'ils ne présentent pas une surface trop considérable, adhèrent parfaitement avec le ciment.

Quoi qu'il en soit de ces diverses influences, il serait utile, ne fût-ce qu'en vue de les préciser par l'observation des ouvrages mêmes de la pratique, qu'on indiquât aussi exactement que possible la nature minéralogique des sables employés sur les chantiers.

Si, comme c'est le cas le plus général, le sable est composé de grains de diverses espèces, on les reconnaîtra à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe et on indiquera approximativement leurs proportions.

On pourra même déterminer, par une analyse des plus simples, la proportion de grains insolubles à froid dans l'acide chlorhydrique ordinaire du commerce et séparer de ces grains par lévigation la partie argileuse impalpable, ce qui décomposera le sable en trois parties bien distinctes : grains solubles, grains insolubles et argile. Une analyse chimique plus complète sera rarement nécessaire.

Enfin, si l'on désire se livrer à une étude plus approfondie et entreprendre des expériences, on pourra faire, avec un même ciment et dans des conditions identiques, deux séries parallèles de morters, d'une part avec le sable étudié et d'autre part avec un sable étalon, par exemple le quartzite de Cherbourg moulu. Mais, soit qu'on emploie ces mortiers à des maçonneries d'essai ou à des expériences de laboratoire, les résultats obtenus ne seront comparables qu'autant que les deux sables seront composés des mêmes grosseurs de grains. On devra donc, après avoir déterminé comme il sera indiqué ci-après la composition granulométrique du sable étudié, mélanger dans les mêmes proportions les grosseurs divisionnaires du quartzite de Cherbourg. Ces expériences ne devront d'ailleurs porter que sur le sable proprement dit, c'est-à-dire débarrassé préalablement des cailloux qu'il pouvait contenir [3].

2° Composition granulométrique.

Nous avons montré dans le mémoire précité que, de quelque manière qu'on mesure le sable (en poids ou en volume), les résistances de mortiers obtenus en combinant un même poids de ciment à des sables minéralogiquement identiques pouvaient varier du simple au trplie, suivant les proportions des diverses grosseurs de grains contenues dans ces sables. De même, les autres propriétés des mortiers, perméabilité, décomposition par l'eau de mer, etc., dépendent presque exclusivement de la composition granulométrique du sable.

---

(1) *Annales des Ponts et Chaussées*. Sept. 1890, p. 319 (p. 43 du tirage à part).

(2) *Loc. cit.*, p. 122.

(3) Il est évident que, pour ces expériences, les mortiers devront être gâchés à une consistance analogue à celle des chantiers. En outre, vu la grosseur de certains des grains des sables étudiés, il sera souvent nécessaire d'employer pour les essais de résistance des éprouvettes de dimensions supérieures à celles que l'on a admises jusqu'à présent. Pour ce qui se rattache à cette question, nous renvoyons à l'appendice de notre rapport du 26 décembre 1892 sur la composition des mortiers sableux normaux pour essais de ciments (page 85).

L'essai le plus important auquel on devra soumettre celui-ci devra donc consister à mesurer les proportions des grains de chaque grosseur qu'il contient.

Nous proposons d'appeler *cailloux* tous les grains restant sur une tôle perforée à trous circulaires de 5 millimètres de diamètre et de décomposer le *sable proprement dit* en trois grosseurs définies comme il suit par les diamètres en millimètres des trous circulaires des tôles perforées servant à les séparer.

Gros grains (G) : passent à 5 mm.; restent sur 2 mm.

Grains moyens (M) : passent à 2 mm.; restent sur 0 mm. 50.

Grains fins (F) : passent à 0 mm. 50.

Les proportions de ces trois catégories de grains, exprimées en centièmes du poids du sable proprement dit, feront connaître la *composition granulométrique* du sable[1]. On indiquera en outre la proportion de cailloux exprimée aussi en fonction du poids de sable proprement dit ramené à 100.

Ces notions suffiront presque toujours à donner une idée approchée de la qualité des mortiers qu'on pourra obtenir avec un sable donné.

Pourtant, dans certains cas spéciaux, il pourra être utile de connaître plus exactement la loi de répartition des grains. On y arrivera en poussant plus loin la subdivision du sable au moyen de tôles perforées plus nombreuses et à trous de diamètres plus voisins.

On pourra alors représenter graphiquement la composition du sable en portant en abscisses les diamètres des trous et en ordonnées les proportions pondérales totales de grains restant sur les tôles correspondantes. En joignant par un trait continu les points ainsi obtenus, on aura une courbe (courbe A_0, fig. 2), qu'on pourra appeler *courbe intégrale* et dont les ordonnées, partant de 100 pour l'abscisse nulle, iront continuellement en décroissant, de telle sorte que la différence des ordonnées correspondant à deux abscisses quelconques x et x' ($x < x'$) représentera la proportion des grains passant au trou de diamètre x' et retenus par le trou de diamètre x.

Il résulte de là que, si l'on construit une nouvelle courbe (courbe A, fig. 3) ayant pour ordonnées des longueurs proportionnelles aux valeurs limites que prend le rapport $-\frac{dy}{dx}$ aux points de même abscisse de la première quand dx tend vers 0, l'aire comprise entre cette nouvelle courbe, l'axe des abscisses et deux ordonnées quelconques sera proportionnelle à la fraction du sable restant entre les deux tôles dont les trous auront pour diamètres les valeurs des deux abscisses correspondantes. Cette seconde courbe (*courbe dérivée*), dont les ordonnées sont proportionnelles aux coefficients angulaires des tangentes à la première aux points de même abscisse, représentera donc exactement la composition du sable[2].

L'utilité de ce mode d'étude graphique des sables se manifeste notamment quand il s'agit d'étudier comment varie le rendement d'appareils de broyage suivant leurs conditions de fonctionnement. Nous en donnons une application dans le rapport que nous présentons en collaboration avec M. Candlot, au sujet de la fabrication du sable normal (page 63).

L'exemple représenté par les courbes A_0 et A des figures 2 et 3 se rapporte à un sable naturel granitique assez fortement coquillier (sable de Saint-Malo). Pour montrer le parti qu'on peut tirer de la méthode représentative qui vient d'être décrite, nous avons déterminé, pour chaque catégorie de grains, la proportion de matière soluble dans les acides (coquilles), ce qui nous a permis de décomposer le sable total (courbe A) en deux autres (courbes a et a'), l'un siliceux, l'autre calcaire. On voit qu'à mesure que les grains deviennent plus gros, ils contiennent des proportions croissantes de coquilles.

---

[1] Nous avons montré (*loc. cit.*, p. 17) comment on pouvait représenter toutes les compositions granulométriques possibles par des points d'un triangle, et quels avantages présentaient des diagrammes établis d'après ce principe. La figure 1 (page 5) représente ainsi les divers sables étudiés d'autre part dans la figure 3. Les nombres inscrits entre parenthèses à côté de chaque point correspondent aux proportions de cailloux.

[2] On pourrait construire du premier coup la courbe dérivée d'une manière plus simple, mais moins exacte, en joignant par un trait continu les points obtenus en prenant pour abscisses les moyennes des diamètres des trous de deux tôles consécutives et pour ordonnées correspondantes des longueurs proportionnelles au quotient du poids de sable restant entre ces deux tôles par la différence des diamètres de leurs trous. Cette construction revient à assimiler l'aire comprise entre la courbe et l'axe des abscisses à une série de trapèzes ayant pour bases les ordonnées correspondant aux diverses tôles employées.

Le tableau ci-dessous donne le détail des opérations ayant servi à construire les courbes [1].

DIAMÈTRE DES trous.	POIDS TOTAL DE SABLE restant sur chaque tamis. (Courbe A_0.)	POIDS DE SABLE RESTANT entre deux tamis consécutifs.	PROPORTION DE GRAINS CALCAIRES (coquilles) contenue dans chaque sable divisionnaire.	POIDS DES GRAINS CALCAIRES de chaque grosseur contenu dans le sable total.	POIDS TOTAL DE GRAINS CALCAIRES restant sur chaque tamis. (Courbe a'_0).
mm.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.	p. 100.
0,00	100,0	0,8	24,9	0,2	21,9
0,50	99,2	2,6	17,9	0,5	21,7
0,75	96,6	5,8	16,4	1,0	21,2
1,0	90,8	43,4	11,1	4,8	20,2
1,5	47,4	22,0	25,2	5,5	15,4
2,0	25,4	9,1	29,7	2,7	9,9
2,5	16,3	5,7	36,0	2,1	7,2
3,1	10,6	2,3	39,2	0,9	5,1
3,5	8,3	2,5	36,2	0,9	4,2
4,0	5,8	1,2	42,8	0,5	3,3
4,5	4,6	0,9	52,0	0,4	2,8
5,0	3,7	2,2	62,3	1,4	2,4
7,5	1,5	0,7	51,2	0,4	1,0
10,0	0,8	0,8	77,3	0,6	0,6
20,0	0,0				0,0

Les courbes B et C de la figure 3 représentent deux autres échantillons de sable composés exclusivement de grains granitiques arrondis et provenant de Gattemarre, près de Cherbourg. Les proportions de cailloux et les compositions granulométriques de ces divers sables sont les suivantes :

DÉSIGNATION.		SABLE A. COMPLET (A).	SABLE A. PARTIE insoluble (a).	SABLE A. PARTIE soluble (a'.)	SABLE B.	SABLE C.
Proportion de cailloux mélangés à 100 de sable proprement dit		3,8	1,3	2,5	5,1	10,5
Composition granulométrique.	Grains G	22,6	14,8	7,8	40,2	99,7
	Grains M	76,6	64,4	12,2	52,2	0,3
	Grains F	0,8	0,6	0,2	7,6	0,0

[1] La courbe intégrale A_0 permet d'établir approximativement la correspondance entre les tôles perforées à trous circulaires et les toiles métalliques ou tous autres appareils de tamisage.

Un tamis quelconque étant donné, il suffit de déterminer la proportion totale des grains du sable étudié qui restent sur ce tamis et de marquer sur la courbe le point dont l'ordonnée représente cette proportion. L'abscisse de ce point mesurera le diamètre du trou de la tôle perforée correspondante.

Le tableau ci-dessous indique les diamètres des trous qui correspondraient à divers tamis en toile métallique pour un sable brut obtenu par la mouture du quartzite de Cherbourg :

Toiles métalliques.	Numéro du commerce (nombre de mailles par pouce linéaire)	200	85	50	30	20	15	11	8	6
	Nombre de mailles par centimètre carré.	5.000	900	324	144	64	36	16	9	4
Diamètres du trou correspondant (en millimètres)		0,20	0,37	0,49	0,95	1,45	1,75	2,38	3,68	4,72

Toutefois, on ne devra pas s'étonner, si l'on répète l'opération avec différents sables, de ne pas trouver exactement la même loi de correspondance. Cette anomalie tient à ce que, en réalité, il n'y a jamais concordance absolue entre deux tamis A et B dont les trous n'ont pas la même forme. En effet, vu la diversité des formes des grains qui composent un sable quelconque, certains de ces grains pourront traverser le tamis A et non le tamis B, tandis que d'autres traverseront le tamis B et non le tamis A, de sorte que deux sables laissant le même poids de résidu sur l'un des tamis, mais contenant en proportions différentes les deux catégories de grains dont il vient d'être question, laisseront forcément des résidus différents sur l'autre tamis. Si, par exemple, les trous d'un tamis sont des cercles de 5 millimètres et ceux de l'autre des carrés de 4 millimètres de côté, on conçoit qu'un grain sphérique de diamètre compris entre 4 et 5 millimètres traverserait le premier et non le second, alors qu'un grain présentant la forme d'un cube d'un peu moins de 4 millimètres de côté, mais tel que la diagonale de chaque face ait plus de 5 millimètres, pourrait traverser le second et non le premier.

Fig. 2.

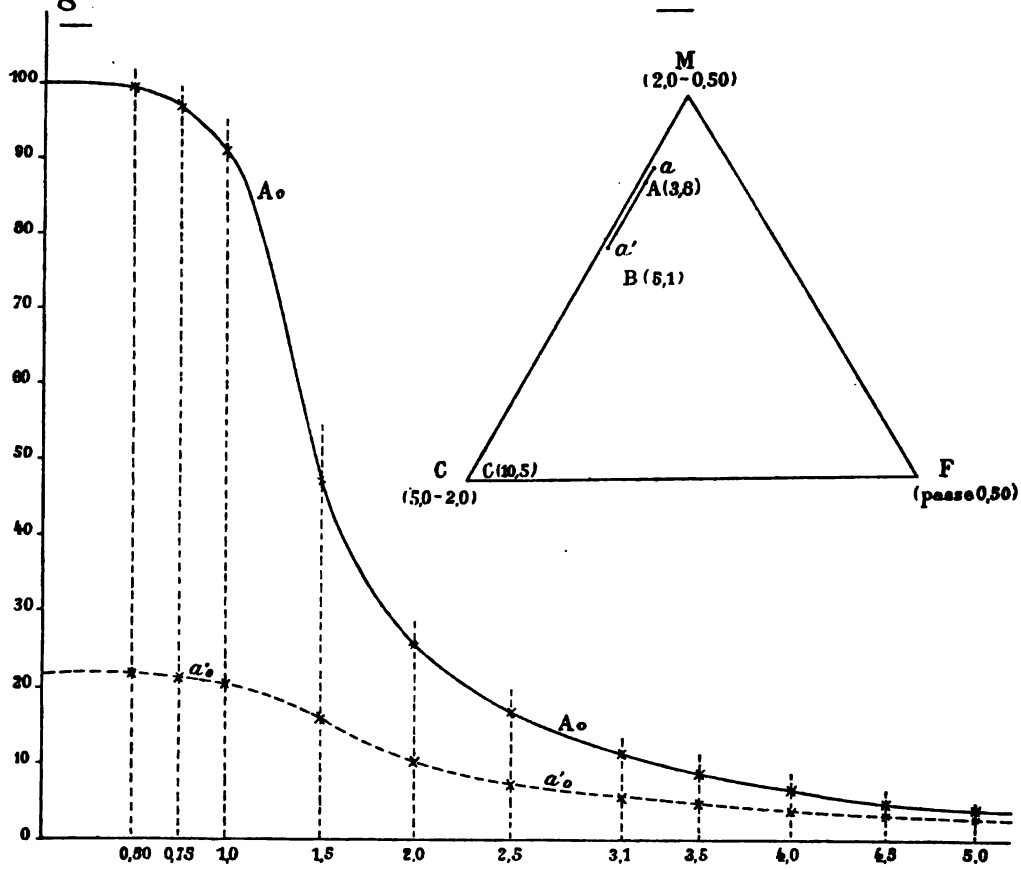
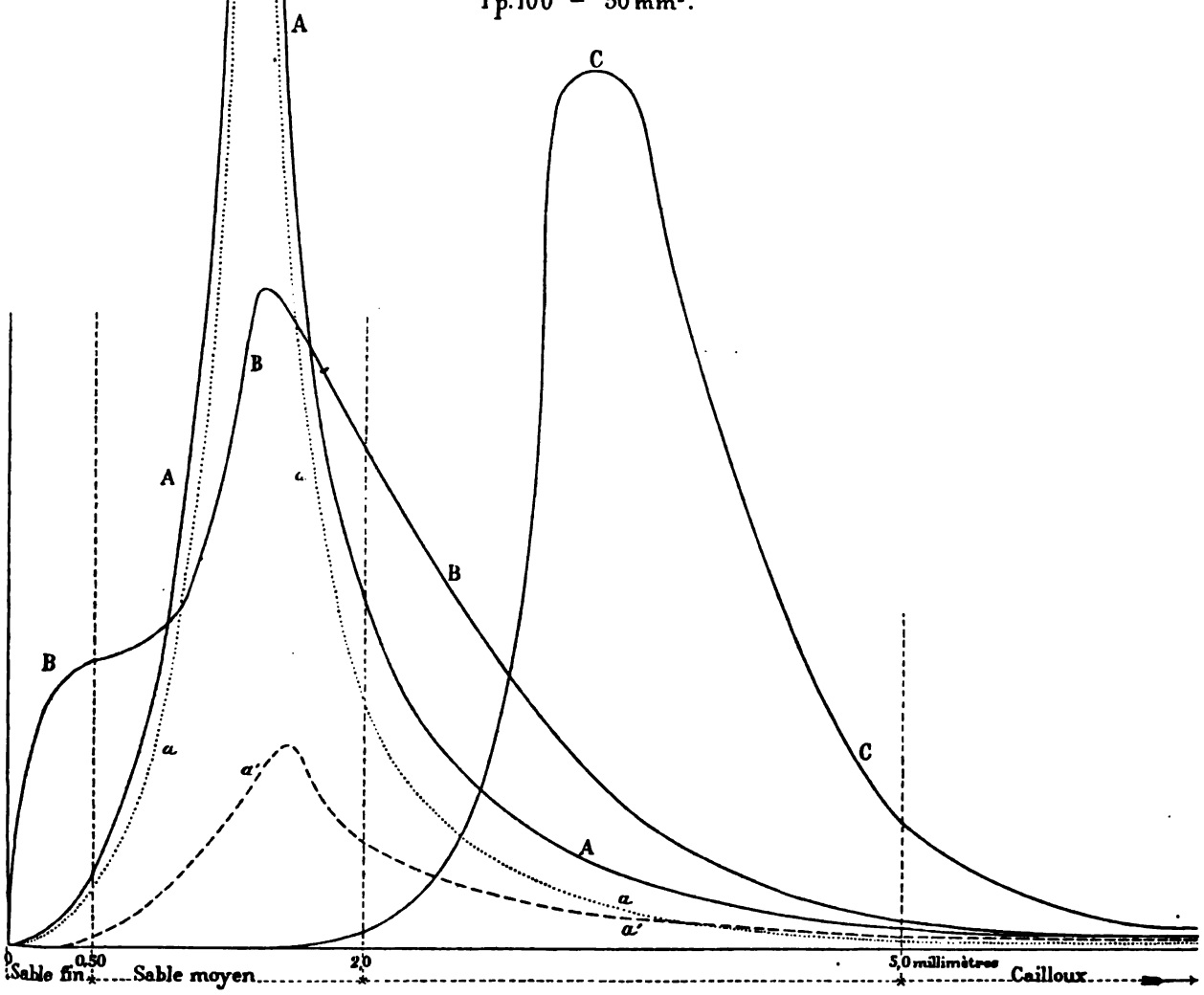


Fig. 1.

Fig. 3.

1 p.100 = 50 mm².



La forme des grains présente aussi un certain intérêt; en particulier nous avons montré [1] qu'à composition granulométrique égale, les sables à grains arrondis présentaient beaucoup moins de vides que les autres. Toutefois cette influence, bien qu'assez notable, est trop faible relativement à celle de la composition granulométrique, pour qu'il soit utile d'en tenir compte dans la pratique en soumettant les sables à quelque essai spécial [2]. On devra donc se contenter de compléter le signalement du sable en indiquant approximativement, à la suite des renseignements relatifs à sa nature minéralogique, la forme de ses grains appréciée au juger.

3° Poids du mètre cube.

Lorsque, dans l'essai d'un ciment, on détermine le poids du litre de cette matière mesuré dans certaines conditions bien définies, on se propose d'en tirer une indication sur la nature ou la qualité de l'échantillon étudié, et non de faire servir à quelque application pratique le nombre trouvé pour ce poids.

En ce qui concerne les sables, nous avons montré que, vu l'extrême variabilité des poids qu'on obtient suivant la manière dont on opère et le degré d'humidité des échantillons [3], on ne peut songer à calculer, d'après le poids mesuré dans certaines conditions particulières complètement arbitraires, l'écartement minimum que pourront atteindre les grains de sable dans un mortier, ni par suite le poids de ciment qu'il convient de combiner à un mètre cube de sable pour obtenir un mortier compact.

Nos expériences ont montré d'autre part que, même en prenant des sables qui, mesurés dans des conditions identiques, présentent la même proportion de vides par unité de volume apparent, des mortiers obtenus en combinant un même poids de ciment à un même volume de sable étaient loin d'avoir les mêmes propriétés.

Dès lors il est évident que, quelque définition qu'on adoptât pour une détermination normale du poids d'un volume donné de sable, il serait imprudent de tirer du nombre trouvé des indications sur la qualité de chaque échantillon.

Par contre, étant donné que, dans la pratique, on mesure au volume le sable employé à la fabrication des mortiers, cette variabilité même de la quantité réelle d'un même sable qui peut occuper un même volume suivant les conditions de l'essai montre l'intérêt qu'il y a pour les chefs de chantiers à déterminer fréquemment, par le mode de cubage spécial qu'ils ont adopté pour leurs travaux, le poids du mètre cube du sable brut sur lequel ils opèrent, de manière à se rendre compte des variations de composition qui résulteraient pour les mortiers du degré d'humidité du sable ou de sa teneur en cailloux, afin d'y remédier en modifiant en conséquence les poids de ciment qu'ils combinent à un même volume de sable.

On devra donc, contrairement à ce qu'on fait pour les ciments, recommander la détermination du poids d'un volume donné de sable uniquement comme essai pratique, en stipulant qu'elle devra être faite par les procédés mêmes usités couramment sur chaque chantier et évitant d'indiquer une méthode normale de mesure susceptible de fournir pour chaque sable un nombre caractéristique absolu, qui ne ferait souvent que donner une idée fausse sur la qualité de l'échantillon.

4° Recherches sur le dosage des mortiers.

De nombreuses expériences [4], exécutées sur des mortiers aux dosages de 250 et 500 kilogrammes d'un même ciment par mètre cube de sables de même nature (quartzite moulu) ne différant que par leurs compositions granulométriques et mesurés toujours à l'état sec et de la

---

[1] *Loc. cit.*, p. 32.

[2] Plus la forme des grains d'un sable est régulière et arrondie, plus est grand le volume de chacun des grains restant entre deux tôles voisines déterminées. Il est évident, par exemple, qu'un grain tétraédrique capable de passer à travers un cercle de diamètre $D+\delta$ et retenu par un cercle de diamètre D aurait un volume bien moindre qu'une sphère dont le diamètre serait compris entre ces deux limites. On pourrait donc, dans une étude théorique des sables, définir dans une certaine mesure la forme des grains restant entre deux tôles consécutives données, par le rapport de leur diamètre moyen (c'est-à-dire du diamètre d'une sphère de même volume) à la moyenne des diamètres des trous des deux tôles, rapport qui serait d'autant plus voisin de l'unité que les grains seraient plus arrondis. Il suffirait, pour calculer le diamètre moyen, de mesurer, comme pour la détermination des poids spécifiques, le volume total d'un nombre connu de grains de même catégorie.

Nous avons constaté ainsi qu'en général, pour un même sable, les grains sont d'autant plus arrondis qu'ils sont plus fins, et que, à partir d'un certain degré de finesse, les différences de forme entre les grains des divers sables s'atténuent de plus en plus.

[3] *Loc. cit.*, chap. III. — En particulier on constate que, pour certains sables, la présence de 2 p. 100 d'humidité suffit à diminuer de 20 p. 100 le poids du mètre cube de sable sec.

[4] *Loc. cit.*, p. 147 et figures 43 à 82.

même manière, ont montré, ainsi qu'on peut en juger par l'examen du tableau résumé ci-dessous, que des mortiers de même dosage pouvaient avoir des propriétés très différentes.

	MORTIERS À 250 KG.	MORTIERS À 500 KG.
Volume de mortier fourni par 1 mètre cube de sable (rendement)	De 0,940 à 1,030 m³.	De 0,970 à 1,180 m³.
Poids de ciment entrant dans 1 mètre cube de mortier	De 243 à 266 kg.	De 424 à 516 kg.
Volume absolu de matières solides entrant dans l'unité de volume de mortier ($c+s$)	De 0,570 à 0,737.	De 0,565 à 0,728.
Volume des vides restant dans l'unité de volume de mortier après séchage (porosité)	De 0,145 à 0,330.	De 0,093 à 0,210.
Décomposition par l'eau de mer après un an d'immersion continue	Tous les degrés, y compris l'absence totale de désagrégation.	Aucune désagrégation.
Résistance à la compression par centimètre carré après immersion d'un an à l'eau douce	De 35 à 130 kg.	De 100 à 260 kg.

Dès lors il est évident que l'indication du dosage des mortiers qu'il convient d'employer pour un travail déterminé n'a aucune signification tant qu'on ne définit pas le sable, et que, suivant le sable dont on dispose, la proportion de ciment à lui combiner ne doit pas être la même. Il importe donc qu'on puisse déterminer pour chaque sable le dosage auquel correspond une qualité donnée du mortier.

On prétend quelquefois y arriver en mesurant le vide d'un volume connu de sable et calculant le poids de ciment capable de donner, quand on le gâche pur avec de l'eau, un volume de pâte précisément égal à celui des vides. Nous venons de dire combien la détermination du poids du mètre cube, et par suite du volume des vides, était aléatoire; d'ailleurs la répartition des grains est complètement changée par l'introduction du ciment. Nous considérons comme tout à fait illusoires les indications fournies par cette méthode, et nous croyons qu'on ne peut être suffisamment renseigné que par l'étude *a posteriori* d'une série de mortiers d'essai obtenus en combinant en proportions différentes le sable et le ciment considérés.

Les sables bruts que l'on peut songer à employer pour les mortiers ne contenant généralement que des proportions de cailloux assez faibles pour qu'on puisse considérer ceux-ci comme noyés dans les mortiers sans en modifier les propriétés, il devra être entendu tout d'abord que les essais porteront sur le sable proprement dit, c'est-à-dire débarrassé des cailloux restant sur la tôle à trous de 5 millimètres de diamètre. On évitera en même temps ainsi l'emploi d'éprouvettes trop volumineuses et les irrégularités dues à l'inégale répartition des cailloux dans les diverses éprouvettes.

Pour opérer toujours sur des quantités de matière bien définies et exemptes de tout aléa, il conviendra d'exprimer en poids les proportions de sable et de ciment employées pour les mortiers d'essai. Il sera alors commode de définir chaque dosage par l'indication du poids de ciment entrant dans l'unité de poids du mélange, ciment + sable, et de représenter graphiquement les résultats des essais en prenant pour abscisses, sur une base de longueur 1, les dosages ainsi définis, et portant en ordonnées les nombres fournis pour chaque mortier par l'expérience. En reliant par une courbe continue les points correspondant à une même qualité des mortiers, on fera disparaître les écarts dus aux erreurs d'expérience en même temps qu'on acquerra le moyen d'évaluer cette qualité, par une simple lecture faite sur le diagramme, pour tous les mortiers intermédiaires à ceux sur lesquels auront porté les essais[1].

[1] D'après la définition qui précède, l'une des extrémités de la base correspondra au sable pur et l'autre au ciment pur, de sorte que le diagramme comportera tous les mélanges possibles d'un même ciment et d'un même sable. Dans la figure 17 de notre mémoire déjà cité, nous avons appliqué ce mode de représentation à deux sables particuliers.

On devra choisir pour les mortiers d'essai des dosages assez rapprochés aux environs de ceux qui correspondent aux mortiers les plus usuels, et aussi quelques dosages extrêmes dont les points représentatifs serviront de guides pour rendre plus exacte la détermination de l'allure des courbes dans leur partie intéressante. On pourra par exemple adopter les dosages suivants :

Proportions en poids.	Ciment :	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	(0,75)?	(1)?
	Sable :	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,60	0,50	(0,25)?	(0)?

Avant de procéder aux essais, il sera bon de déterminer par tâtonnements, pour quelques-uns des mortiers, le poids d'eau à employer pour le gâchage, en l'exprimant, de même que le dosage en ciment, en fonction du poids total de mélange sec, et d'en déduire par une interpolation graphique, comme il vient d'être expliqué, les proportions d'eau correspondant aux autres dosages. On connaîtra alors tous les éléments des mortiers et il ne restera plus qu'à procéder au gâchage.

Il est difficile de fixer d'une manière uniforme quelles qualités on devra étudier sur les mortiers d'essai. Suivant la nature du travail à exécuter, on attachera plus ou moins d'importance à telle ou telle propriété des mortiers (prix de revient, densité, dureté, porosité, perméabilité, inaltérabilité dans certains milieux, etc.), et ce sera plus spécialement sur les variations de cette propriété qu'on devra baser le choix du dosage.

Il est probable que, dans presque tous les cas, il suffira de déterminer, par la méthode que nous avons décrite d'autre part [1], les volumes absolus occupés dans l'unité de volume de chaque mortier par le ciment, le sable, l'eau et les vides.

Les duretés relatives pourront même être prévues, sans autres essais spéciaux, par une formule approchée que nous avons indiquée [2] et d'après laquelle la résistance à la compression serait proportionnelle au volume absolu de ciment et inversement proportionnelle à la somme des volumes de l'eau et des vides contenus dans l'unité de volume de mortier. Toutefois il sera bon, pour tenir compte de la qualité du ciment employé, de faire avec les mortiers étudiés des essais de résistance spéciaux, et de comparer les résultats obtenus à ceux d'un mortier normal de composition constante bien définie fabriqué avec le même ciment. Ainsi que nous l'avons laissé entrevoir dans un autre rapport, ce mortier, gâché à consistance plastique et introduit sans battage dans les moules, pourrait être composé en poids d'une partie de ciment pour trois parties d'un mélange sableux (quartzite moulu) contenant en égales proportions les trois grosseurs subdivisionnaires normales définies plus haut.

Enfin il sera toujours utile, surtout si l'on a à choisir entre plusieurs sables, de calculer le prix de revient du mètre cube de mortier en fonction du dosage, ou mieux en fonction du nombre qui mesure la principale qualité demandée au mortier; l'allure de la courbe exprimant sa loi de variation montrera quel est, pour chaque sable, le dosage le plus convenable, et pourra même souvent révéler des avantages économiques tout à fait inattendus résultant de l'emploi de certains sables [3].

Supposons maintenant que, par les essais qui viennent d'être décrits, on soit arrivé à choisir un sable et à déterminer dans quelles proportions, évaluées en poids, il convient, pour un travail donné, de combiner le ciment dont on dispose et ce sable pris à l'état sec et débarrassé de ses cailloux.

Sur les chantiers, il serait peut-être bien compliqué de peser le sable, et d'ailleurs les pesées pourraient être faussées par la présence dans le sable de poids variables d'eau et de cailloux.

Si donc on croit devoir continuer à mesurer le sable au volume, on devra commencer par déterminer comme il a été dit plus haut (§ 3) les poids d'un même volume de sable pris dans les diverses conditions possibles et mesuré comme pour l'emploi, en déduire les poids réels de sable proprement dit contenus chaque fois dans la mesure et calculer d'après ces poids les poids de ciment qu'il faudra combiner à ce même volume de sable pour obtenir toujours le mortier adopté à la suite des premiers essais.

---

(1) *Loc. cit.*, p. 50 et note à la Commission en date du 15 juin 1892 (page 243).

(2) *Loc. cit.*, p. 127 et suivantes.

(3) *Loc. cit.*, p. 134 et 135. — D'une manière générale, il semble que les meilleurs mortiers possibles soient ceux qui contiennent deux volumes absolus de gros grains pour un de grains fins, ciment compris. Pour de pareils mortiers, le volume absolu de matière solide par unité de volume de mortier $(c+s)$ est d'autant plus fort qu'il y a plus d'écart entre les plus petits des gros grains et les plus gros des grains fins, et d'autre part la dureté augmente en même temps que la fraction des grains fins constituée par le ciment.

On aura alors, qu'on emploie le sable à l'état naturel ou qu'on juge utile de le débarrasser préalablement de ses cailloux, tous les éléments nécessaires pour établir un tableau numérique ou graphique indiquant comment on devra modifier les conditions pratiques de la fabrication suivant le degré d'humidité du sable [1] pour obtenir toujours le mortier voulu.

Enfin, pendant l'exécution du travail, il ne restera plus qu'à mesurer de temps en temps le degré d'humidité du sable, de manière à faire les corrections à mesure qu'elles seront nécessaires, en vérifiant en même temps la constance de sa composition granulométrique et de sa teneur en cailloux.

Pour mesurer l'humidité, il suffira de déterminer la perte de poids subie par 5 kilogrammes de sable après séchage suffisant à une température un peu supérieure à 100 degrés.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS PROPOSÉES.

Il ressort de ce qui précède qu'on peut diviser en trois catégories distinctes les divers essais auxquels il y a lieu de soumettre les sables destinés à la fabrication des mortiers :

Les uns, propres à caractériser chaque échantillon, peuvent être assimilés aux essais de réception qu'on fait subir aux ciments.

D'autres, généralement plus compliqués, portent sur des sables déjà considérés comme acceptables, et ont pour but d'en faire connaître le meilleur mode d'emploi suivant la nature des ouvrages à exécuter. Ils complètent en partie les renseignements actuellement insuffisants fournis par les premiers sur la qualité de chaque échantillon et perdront de leur utilité à mesure qu'on connaîtra mieux les relations suivant lesquelles les propriétés des sables dépendent de leur composition.

Enfin, d'autres sont de véritables essais de chantier destinés à guider au jour le jour les agents préposés à la fabrication des mortiers.

Dès lors, si le Comité partage notre moyen de voir, on pourrait formuler comme il suit les règles à observer pour l'exécution de ces divers essais.

1° Pour définir un sable quelconque, on indiquera sa composition granulométrique, la proportion de cailloux qu'il contient, sa nature minéralogique et la forme de ses grains.

On déterminera la composition granulométrique et la proportion des cailloux en tamisant le sable sec au moyen de tôles perforées à trous circulaires ayant respectivement 5 mm., 2 mm. et 0 mm. 50 de diamètre. Appelant *cailloux* tous les grains retenus par le premier de ces tamis, on définira la composition granulométrique par les proportions en poids de grains gros (5,0 — 2,0), moyens (2,0 — 0,50) et fins (passant à 0,50) contenus dans l'unité de poids du *sable proprement dit*, c'est-à-dire passant au trou de 5 millimètres. On exprimera de même la proportion des cailloux en fonction du poids du sable proprement dit.

On décrira aussi exactement que possible la nature minéralogique du sable et, s'il n'est pas homogène, on évaluera approximativement les proportions de grains de chaque nature contenus soit dans le sable complet, soit dans chacune de ses subdivisions. On pourra notamment déterminer, par l'action à froid de l'acide chlorhydrique ordinaire du commerce, les proportions de grains solubles et de grains insolubles et doser en même temps l'argile par lévigation de la partie insoluble.

On appréciera au juger la forme des grains.

2° Pour déterminer la proportion d'agglomérant qu'il convient de combiner à un sable donné pour obtenir un mortier de qualité donnée, on étudiera parallèlement une série de mortiers à dosages échelonnés faits avec l'agglomérant et le sable à employer préalablement débarrassé de ses cailloux, et on représentera par un diagramme les lois de variation des principales qualités des mortiers suivant leur dosage. En particulier, il conviendra, dans presque tous

[1] Au cas où des essais préliminaires auraient montré que la teneur en cailloux oscille dans les fournitures successives entre des limites un peu écartées, il y aurait lieu de tenir compte également de cette cause d'écarts. Le tableau devrait alors être à double entrée.

les cas, d'étudier les volumes absolus occupés dans l'unité de volume de mortier frais par l'agglomérant, le sable, l'eau et les vides, le prix de revient du mètre cube du mortier et sa résistance après une même durée d'exposition dans des conditions déterminées. Pour les essais de résistance, il sera bon d'opérer comparativement sur un mortier normal, toujours identique à lui-même, fabriqué avec le même agglomérant que les autres mortiers.

Si l'on désire étudier spécialement l'influence de la nature du sable, on fera des essais de résistance à longue durée, d'une part sur des mortiers faits avec le sable étudié débarrassé de ses cailloux, et d'autre part sur des mortiers de même dosage faits avec le même agglomérant et un mélange préparé au moyen de trois sables élémentaires normaux (quartzite de Cherbourg moulu) de manière à présenter la même composition granulométrique que le sable étudié.

3° Pour tenir compte, sur les chantiers, des écarts pouvant provenir, dans le mesurage du sable, des conditions variables (humidité, cailloux) dans lesquelles on emploie cette matière, on déterminera, par des expériences renouvelées aussi souvent qu'on le jugera convenable, le poids de sable proprement dit sec entrant dans une quantité donnée de sable brut, mesurée de la même manière que pour l'emploi. D'après le nombre trouvé dans chaque cas, on calculera les proportions des éléments, agglomérant et sable brut, correspondant à la richesse désirée pour le mortier. Cette opération se fera d'ailleurs immédiatement si l'on a eu soin d'établir d'avance une fois pour toutes, à la suite d'expériences spéciales, un tableau numérique ou graphique fixant les conditions pratiques de fabrication qu'il conviendra d'adopter suivant l'état du sable.

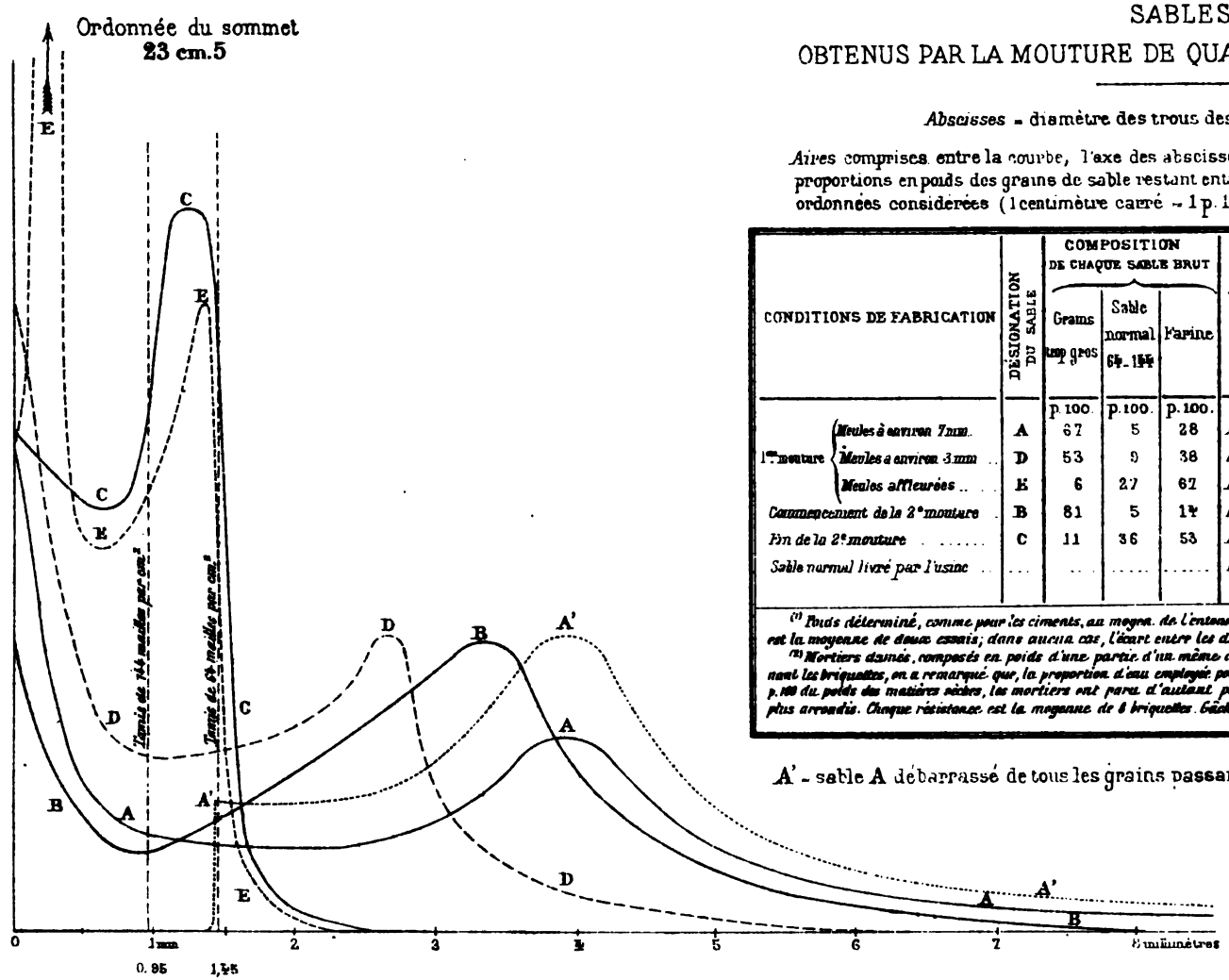
On déterminera le degré d'humidité de ce dernier en mesurant la perte de poids subie par un échantillon de 5 kilogrammes après séchage suffisant à une température un peu supérieure à 100 degrés.

Boulogne, le 22 janvier 1893.

R. FERET.

TABLE GÉNÉRALE DES RAPPORTS.

		Pages.
I.	Sur les essais de tamisage, par M. Durand-Claye	5
II.	Sur le poids spécifique des ciments et des chaux hydrauliques, par M. E. Candlot	15
III.	Sur la densité apparente des ciments portlands, par M. P. Alexandre	21
IV.	Sur l'application de la loupe au contrôle des ciments, par M. R. Feret	43
V.	Sur la consistance normale des pâtes de ciment, par MM. P. Alexandre et R. Feret	49
VI.	Sur le mode de fabrication actuel du sable normal, par MM. E. Candlot et R. Feret	63
VII.	Sur le sable normal naturel, par M. Durand-Claye	67
VIII.	Sur la composition à donner aux mortiers d'essai et leur meilleur mode de fabrication, par M. R. Feret	73
IX.	Sur la quantité d'eau à employer pour le gâchage des mortiers normaux d'essai, par M. R. Feret	103
X.	Sur la prise des pâtes de ciment, par MM. P. Alexandre et R. Feret	111
XI.	Sur l'échauffement des ciments pendant la prise, par M. le commandant Ribaucour	133
XII.	Sur la prise des mortiers sableux, par M. R. Feret	139
XIII.	Sur le mesurage des briquettes pour essais à la traction, par M. P. Debray	151
XIV.	Sur la confection mécanique des éprouvettes cylindriques de ciment et de mortier de ciment, par M. A. Brüll	171
XV.	Sur les essais à l'eau chaude, par M. H. Le Chatelier	175
XVI.	Sur l'interposition de corps compressibles entre les griffes et les briquettes dans les essais de ciments à la traction, par M. R. Feret	181
XVII.	Sur les essais à la compression et au poinçonnage, par M. P. Siméon	187
XVIII.	Sur les essais de la résistance des matériaux à la rupture par flexion (1re note), par M. Durand-Claye	211
XIX.	Sur les essais de la résistance des matériaux à la rupture par flexion (2e note), par M. Durand-Claye	217
XX.	Sur les appareils multiplicateurs pour mesurer les variations de longueur des baguettes de chaux et ciment immergées dans l'eau douce et dans des solutions diverses, par M. P. Debray	221
XXI.	Sur un rapport de M. Tetmajer relatif aux procédés accélérés d'essais d'invariabilité de volume des ciments, par M. H. Le Chatelier	225
XXII.	Sur les essais de déformation par les expansifs, par M. H. Le Chatelier	229
XXIII.	Sur la déformation des pâtes de ciment par l'immersion dans l'eau froide et dans l'eau chaude, par M. le commandant Ribaucour	241
XXIV.	Sur la détermination du rendement et de la compacité des mortiers, par M. R. Feret	243
XXV.	Sur les méthodes de mesure de la porosité des mortiers, par MM. P. Alexandre, P. Debray et H. Le Chatelier	247
XXVI.	Sur la composition de l'eau de mer artificielle destinée aux essais de ciments, par M. H. Le Chatelier	279
XXVII.	Sur les essais d'adhérence, par M. E. Candlot	281
XXVIII.	Sur les méthodes d'essai des pouzzolanes naturelles et du trass, par M. E. Dardenne	289
XXIX.	Sur le tamis le plus fin à adopter pour les chaux, par M. Durand-Claye	301
XXX.	Sur les essais des plâtres, par M. Morel	305
XXXI.	Sur les essais des sables destinés à la fabrication des mortiers, par M. R. Feret	309



SABLES
OBTENUS PAR LA MOUTURE DE QUARTZITE DE CHERBOURG.

Abscisses = diamètre des trous des tamis *(tôles perforées)*

Aires comprises entre la courbe, l'axe des abscisses et deux ordonnées quelconques = proportions en poids des grains de sable restant entre les tamis correspondant aux deux ordonnées considérées (1 centimètre carré = 1 p. 100 du sable total).

CONDITIONS DE FABRICATION	DÉSIGNATION DU SABLE	COMPOSITION DE CHAQUE SABLE BRUT: Grains mm gros 1	Sable normal 64-144	Farine	PROPRIÉTÉS DU SABLE 64-144 EXTRAIT DE CHAQUE SABLE BRUT: Forme des grains	Poids du litre non tassé (1)	Résistance à la traction de mortiers sablés normaux (2): 1 semaine	4 semaines
		p. 100.	p. 100.	p. 100.		g.	kg p. cm²	kg p. cm²
1re mouture: Meules à environ 7mm.	A	67	5	28	Anguleux	1407	16,0	19,8
1re mouture: Meules à environ 3mm	D	53	9	38	Angles légèrement émoussés	1420	16,2	18,8
1re mouture: Meules affleurées	E	6	27	67	Angles un peu plus émoussés	1467	14,5	19,8
Commencement de la 2e mouture	B	81	5	14	Angles légèrement émoussés	1447	15,4	18,8
Fin de la 2e mouture	C	11	36	53	Angles fortement émoussés	1.521	17,2	21,0
Sable normal livré par l'usine	...	...	...	...	Angles émoussés	1.501	14,6	20,4

(1) *Poids déterminé, comme pour les ciments, au moyen de l'entonnoir à tamis adopté par le Comité. Chaque nombre est la moyenne de deux essais; dans aucun cas, l'écart entre les deux poids trouvés n'a excédé 6 grammes.*

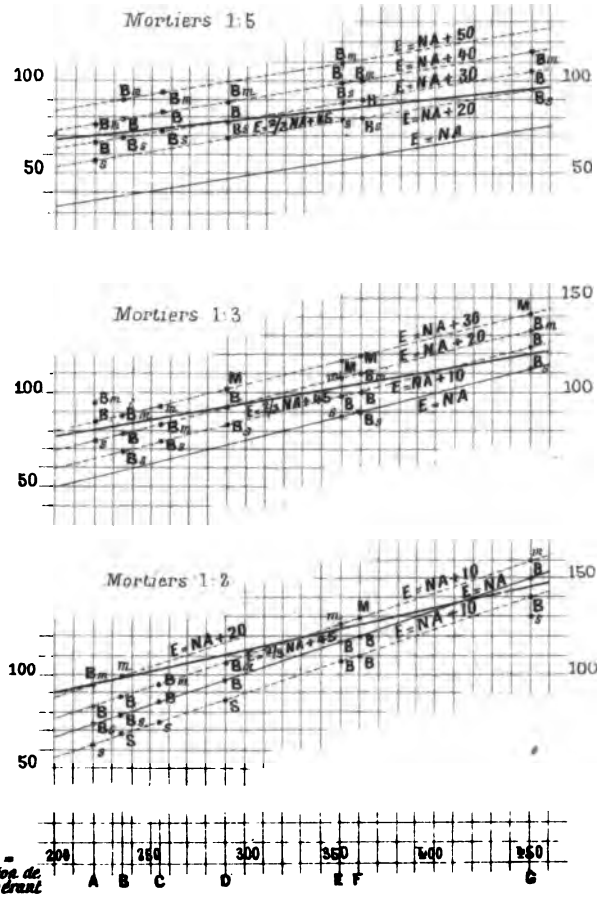
(2) *Mortiers dosés, composés en poids d'une partie d'un même ciment et de trois parties de sable 64-144. En confectionnant les briquettes, on a remarqué que, la proportion d'eau employée pour le gâchage ayant été, dans tous les cas, égale à 10,5 p. 100 du poids des matières sèches, les mortiers ont paru d'autant plus mouillés que leur sable était composé de grains plus arrondis. Chaque résistance est la moyenne de 6 briquettes. Gâchage et immersion à l'eau de mer.*

A' = sable A débarrassé de tous les grains passant au tamis de 64 mailles par centim.² carré

GÂCHAGE DES MORTIERS NORMAUX D'ESSAI

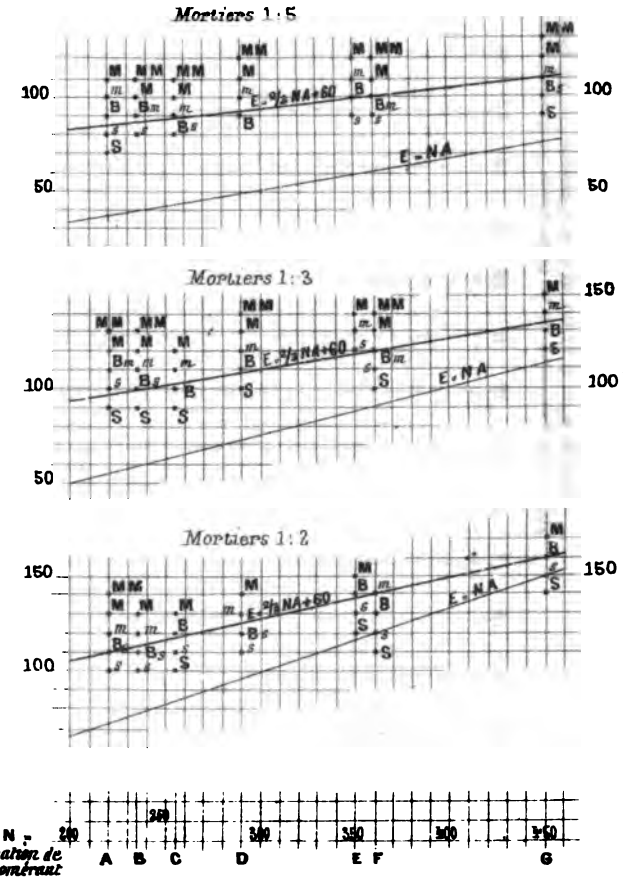
MORTIERS SECS BATTUS AU SABLE (1,5-1,0)

Abscisses = N
Ordonnées = E



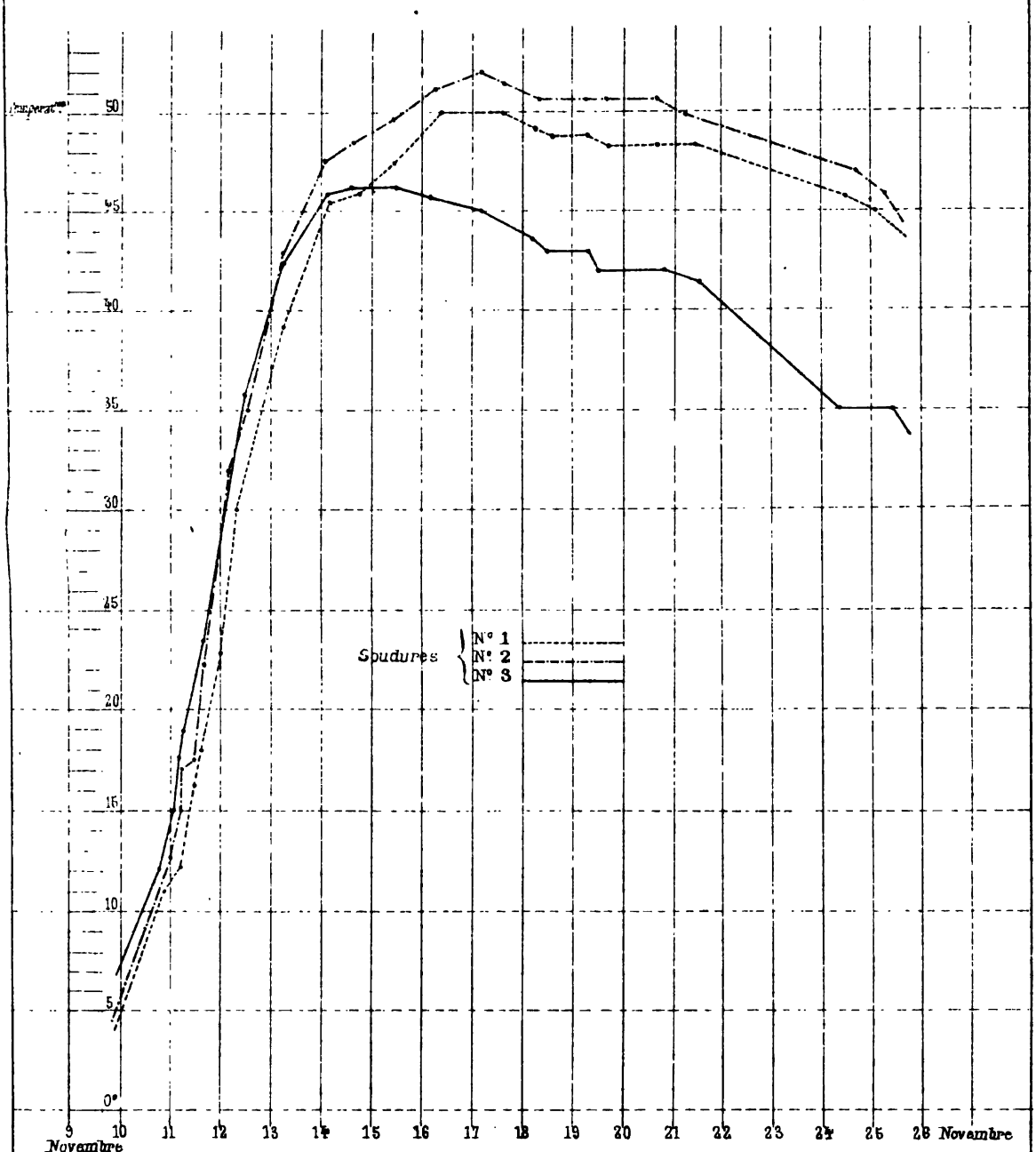
MORTIERS PLASTIQUES AU SABLE COMPOSÉ (2,0-1,5)+(1,5-1,0)+(1,0-0,50)

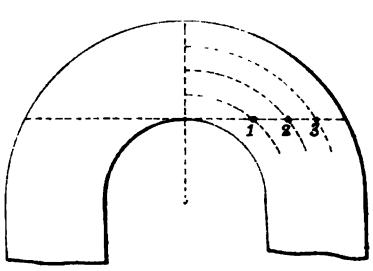
Abscisses = N
Ordonnées = E



VARIATIONS DE TEMPÉRATURE

D'UN MASSIF EN BÉTON DE CIMENT PENDANT ET APRÈS LE COULAGE.

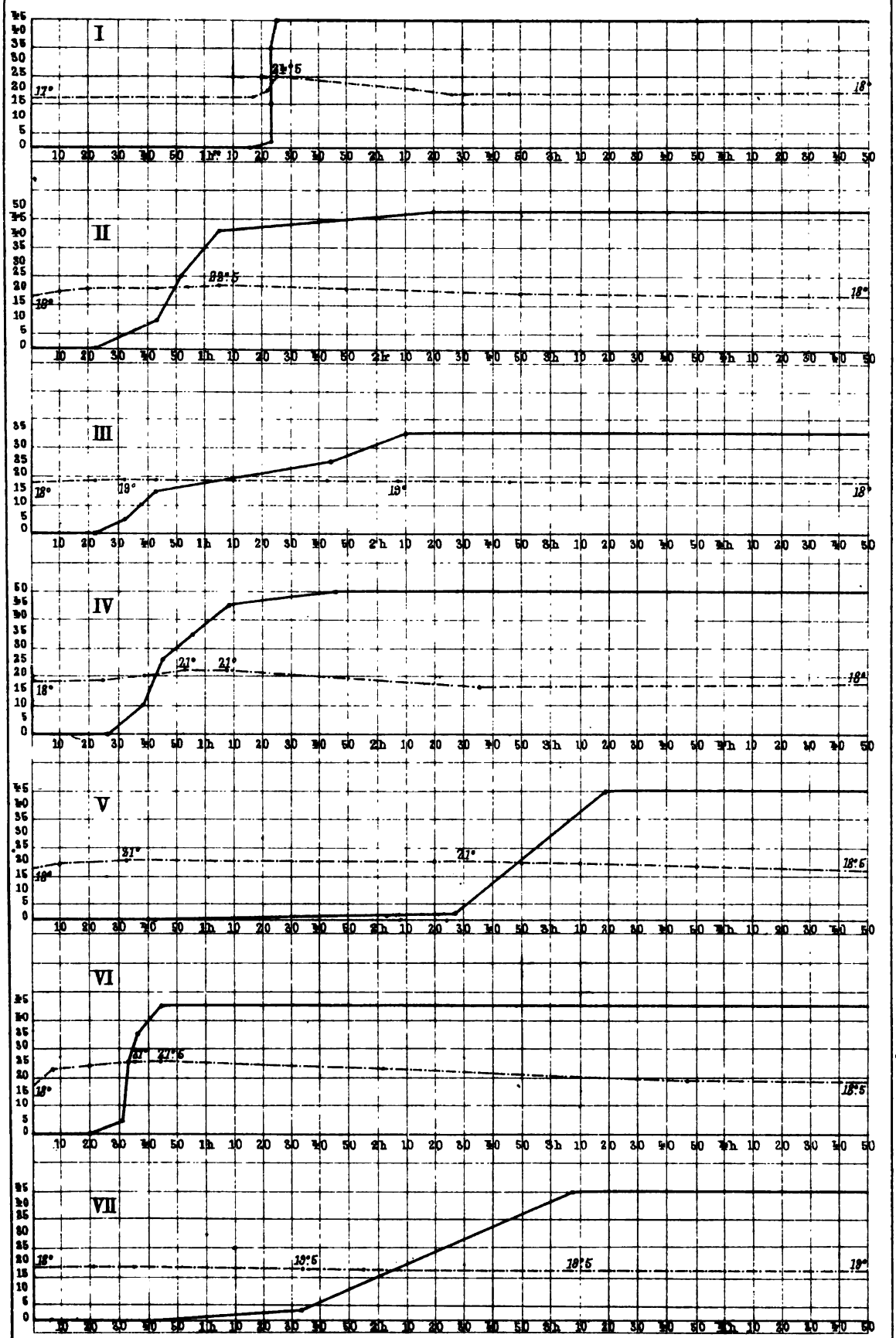




Nota : *Les expériences sur les températures développées pendant le coulage d'un massif en béton de ciment de 3m.50 d'épaisseur ont été faites parallèlement par le procédé des courants thermo-électriques et par un simple thermomètre à mercure descendu dans une cavité ménagée à l'intérieur de la masse de béton au fur et à mesure du damage des couches*

Les deux séries d'observations ont été concordantes; elles sont relatées au graphique ci-dessus, qui donne pour chacune des soudures 1, 2, 3, les variations de température du massif; l'examen de l'échauffement de la soudure centrale N°2 fait constater une élévation de température de 46 degrés par rapport à celle de l'air ambiant.

ESSAIS SUR L'ÉCHAUFFEMENT DES CIMENTS PENDANT LA PRISE.



Le trait ——.——.—— *indique la marche de la température.*
Le trait ———— *d° d° du durcissement.*

3 2044 103 132 007